

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA

Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO ELÉCTRICO

**TEMA:
“DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS UTILIZADOS EN GENERADORES
ELÉCTRICOS”**

**AUTOR:
JAVIER ALBERTO PAHUANQUIZA GUAMANTICA**

**DIRECTOR:
ING. RAMIRO ALEJANDRO ROBAYO VASCO**

Quito, Febrero del 2015

DECLARATORIA DE AUDITORIA:

Yo, Javier Alberto Pahuanquiza Guamantica, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana, la publicación total o parcial de este trabajo de Grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, 28 de Febrero del 2015

JAVIER ALBERTO PAHUANQUIZA GUAMANTICA

CC: 171393044-2

AUTOR

Ing. Ramiro Robayo

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos y financieros del informe de la monografía, así como el “Dispositivos Electrónicos Utilizados en Generadores Eléctricos” realizada por el Sr. Javier Alberto Pahuanquiza Guamantica, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 28 de Febrero del 2015

Ing. Ramiro Alejandro Robayo Vasco

DIRECTOR

DEDICATORIA.

Yo, Javier Alberto Pahuanquiza Guamantica, dedico la presente tesis a mi amada esposa Daysi, por brindarme todo su apoyo incondicional, por ser mi mayor motivación e inspiración para poder seguir adelante con este proyecto.

A mis preciosos hijos Gadiel y Annette por darme su confianza constantemente, por compartir todos mis logros alcanzados, ustedes son una gran bendición.

A mis padres por todo el sacrificio que hicieron para poder educarme y eso es la mejor herencia.

AGRADECIMIENTO.

Yo, Javier Alberto Pahuanquiza Guamantica, Agradezco a mí amado Dios por darme la vida y estar siempre a mi lado en todo momento, gracias a él he podido salir adelante en los momentos más difíciles que se me ha presentado.

Agradezco mucho a mi director de tesis Ing. Ramiro Robayo, por el apoyo brindado al realizar este proyecto, por su guía y paciencia, sin su ayuda no hubiese sido posible esto.

A la Universidad Politécnica Salesiana por acoger jóvenes estudiantes que con el pasar del tiempo los van convirtiendo en unos excelentes profesionales, yo soy uno de ellos, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
INDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT.....	XV
Introducción.....	1
CAPÍTULO I	2
ANÁLISIS DE LOS GENERADORES ELECTRICOS.....	2
 1.1.Sistemas de generación eléctrica	 2
1.1.1. Generación térmica.....	4
1.1.2. Generación Hidráulica.....	5
1.1.3. Generación nuclear	7
1.1.4. Generación Eólica.....	8
1.1.5. Generación Geotérmica	11
1.1.6. Generación Mareomotriz	13
1.2. Fundamentos de los generadores eléctricos.....	17
1.2.1 Generador primario.....	17
1.2.2 Generadores Secundarios	18

1.3. Elementos de los generadores eléctricos.....	19
1.3.1. Estator.....	19
1.3.2. Componentes mecánicas.....	24
1.3.3. El rotor.....	24
1.3.4. Sistema de Enfriamiento.....	28
1.3.5. Excitatriz.....	28
1.3.6. Funcionamiento del Generador eléctrico.....	29
1.4. Tipos de falla de un generador.....	35
1.4.1. Fallas del Estator del Generador.....	36
1.4.2. Fallas en el Rotor del Generador	37
1.4.3. Problemas en el generador debido a fallas en el sistema de potencia	38
CAPITULO II.....	40
APLICACIONES ELECTRONICAS UTILIZADOS EN GENERADORES ELECTRICOS EN MONITOREO Y CONTROL	40
2.1. Aplicaciones y monitoreo utilizados en sistemas eléctricos.....	40
2.2. Causas de las fallas.....	41
2.2.1. Clases de fallas.	42
2.2.2. Funciones de un sistema de protección.	42
2.2.3. Tiempo de eliminación de fallas.....	44
2.2.4. Protección primaria, protección de respaldo y protección direccional.....	44
2.3. Funcionamiento del dispositivo electrónico utilizado en un generador eléctrico..	
.....	45

2.4. Protecciones eléctricas para generadores eléctricos.....	46
2.4.1. Protección de generador con neutro desconectado de tierra.....	49
2.4.2. Protección de generador con neutro conectado a tierra a través de una resistencia o reactancia	50
2.4.3. Protección del generador con neutro conectado a tierra a través de un transformador de distribución.....	50
2.4.4. Contra sobrecalentamiento del estator.....	50
2.4.5. Contra sobretensiones.....	51
2.4.6. Método potenciométrico para campo	51
2.4.7. Método de inyección de corriente alterna.....	52
2.4.8. Contra sobrecalentamientos del rotor	52
2.4.9. Protección de respaldo-fallas externas al generador.....	52
2.4.10. Protección contra motoreo	53
2.4.11. Protección contra fallas en los arrollamientos del estator (Diferencial del generador)	53
2.4.12. Protección contra fallas entre espiras.....	54
2.4.13. Protección contra fallas a tierra del estator	55
2.4.14. Protección contra fallas a tierra en el rotor	56
2.4.15. Protección contra la pérdida de excitación	56
2.4.16. Relé de balance tensión.....	58
2.4.17. Relé de sobre-excitación	58
2.4.18. Protección de sobre frecuencia y baja frecuencia	60

2.5.Aplicación de cada uno de los dispositivos electrónicos utilizados en generación	60
2.5.1. Imán	60
2.5.2. Rotor	60
2.5.3. Dinamo	61
2.5.4. Escobillas.....	62
CAPITULO III	63
ANALISIS DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRONICOS PARA EL MONITOREO DE GENERADOR ELECTRICO.....	63
3.1. Conceptos básicos de cada uno de los dispositivos electrónicos.....	63
3.1.1. Descripción de las partes constitutivas de la máquina	65
3.2. Monitoreo y control del generador eléctrico.....	68
3.2.1. Analizador de Calidad ANALYST 3Q de LEM.	69
3.2.2. Analizador de Calidad Fluke 345.	69
3.2.3. Analizador de Calidad Fluke 43B	69
3.2.4. Registrador de calidad de tensión Fluke VR1710	69
3.2.5. Sensores	70
3.2.6. Digitalización.....	72
3.2.7. Equipos electrónicos.....	72
3.2.8. Instrumentación virtual.....	72
3.3.Características importantes de los dispositivos electrónicos utilizados en generadores eléctricos.....	72

3.3.1.	Diodos.....	72
3.3.2.	Bobinas del estator, donde se origina la corriente.	74
3.3.3.	Bobinado del rotor.	74
3.3.4.	Anillos colectores.	75
3.3.5.	Escobillas.....	75
3.4.	Proceso básico de los dispositivos electrónicos.....	75
3.4.1.	Diodo.	75
3.4.2.	Rotor	76
3.4.3.	Escobillas.....	76
3.4.4.	Colector	76
3.4.5.	Estatore.....	77
3.4.6.	Alternador	78
CAPITULO IV.....		79
CONFIABILIDAD, COSTOS Y DURABILIDAD DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRONICOS.....		79
4.1.	Variedad y durabilidad de cada dispositivo electrónico.....	79
4.1.1.	Diodos.....	79
4.1.2.	Bobina de conductor,	84
4.1.3.	Núcleo del estator	85
4.1.4.	Embobinado del rotor	85
4.2.	Utilidad básica de cada elemento utilizado.....	86

4.2.1. Diodo	86
4.2.2. Rotor	86
4.2.2. Escobillas:.....	87
4.2.3. Colector:	87
4.3. Costos de los dispositivos electrónicos	88
4.3.1. Los diodos	88
4.3.2. Bobinas del estator, donde se origina la corriente.	88
4.3.3. Núcleo del estator.	88
4.3.4. Embobinado del rotor.	88
4.3.5. Rotor o campo magnético.....	88
4.3.6. Escobillas o carbones, brochas cepillos.....	89
4.4. Justificación de los reemplazos de los dispositivos electrónicos en los generadores eléctricos.....	89
4.4.1. Rotor:.....	89
4.4.2. Estator.....	90
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	95
REFERENCIAS	97
ANEXOS	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Generación Térmica	5
Figura N° 2: Sistema de Generación y Distribución por Generación Hidráulica.....	5
Figura N° 4: Sistema de generación nuclear	8
Figura N° 5: Aerogenerador	11
Figura N° 6: Sistema de generación Geotérmica	13
Figura N° 7: Sistema de generación Mareomotriz	16
Figura N° 8: Diagrama de tensiones de fase y de línea	21
Figura N° 9: Generador Conectado en Delta.....	22
Figura N° 10: Conexión de fuentes en estrella.	22
Figura N° 11: Diagrama vectorial de intensidades en la conexión de fuentes en triángulo.....	23
Figura N° 12: Rotor cilíndrico y de polos salientes	25
Figura N° 13: Esquema del rotor de jaula de ardilla.	26
Figura N° 14: Elementos de un generador.....	30
Figura N° 15: Elementos de un generador	31
Figura N° 16: Curva de vacío	32
Figura N° 17: Aplicación de relé de balance de tensión	58
Figura N° 18: Inductor de una dinamo	61
Figura N° 19: Curva de polarización inversa	74
Figura N° 20: Forma de un rotor.	86
Figura N° 21: Partes de un colector.....	87

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Tipos de generación de energía	3
Tabla N° 2: Guía de aplicación	49
Tabla N° 3: Valores nominales de tensión	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Proceso generación eléctrica.	101
Anexo N° 2: Estructura de un sistema de generación.	101
Anexo N° 3: Generación Eólica.	102
Anexo N° 4: Energía Solar.	102
Anexo N° 5: Esquema del sistema eléctrico actual.	103
Anexo N° 6: Partes de un generador eléctrico.....	103
Anexo N° 7: Tipos de generadores eléctricos.	104
Anexo N° 8: Sistema de generación eólica.	104
Anexo N° 9: Movimiento de un generador eléctrico.....	105
Anexo N° 10: Funcionamiento de una central nuclear.....	105

RESUMEN

“DISPOSITIVOS ELÈTRONICOS UTILIZADOS EN GENERADORES ELÈTRICOS”

Javier Alberto Pahuanquiza Guamantica

javipower.82@gmail.com

Universidad Politécnica Salesiana

Resumen—El objetivo de esta investigación es mostrar todo acerca de los dispositivos electrónicos encontrados en un generador eléctrico, así como sus funciones los tipos de fallas existentes de esta forma poder verificar las protecciones utilizadas para que en un generador no exista algún tipo de fallo, los criterios de aceptación aplicables y la efectividad para indicar el tipo de generador a utilizar al instante de comprar o diseñar, por lo cual es vital conocer su estado para aplicar las acciones correctivas requeridas. Los motores y generadores eléctricos son un grupo de aparatos que se utilizan para convertir la energía mecánica en eléctrica, o a la inversa, con medios electromagnéticos. A una máquina que convierte la energía mecánica en eléctrica se le denomina generador, alternador o dinamo, y a una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica se le denomina motor.

ABSTRACT

"ELECTRONIC DEVICES USED IN MACHINERY"

Javier Alberto Pahuanquiza Guamantica

javipower.82@gmail.com

Universidad Politécnica Salesiana

Abstract— The objective of this research is to show everything about electronic devices found in an electric generator and its functions the types of faults in this way to verify the protections used for a generator there is some kind of failure, the criteria applicable acceptance and effectiveness to indicate the type of generator to be used instantly buying or design, so it is vital to know your state to implement corrective actions required. The electric motors and generators are a group of devices used to convert mechanical energy into electrical, or conversely, with electromagnetic means. A machine that converts mechanical energy into electricity is called a generator, alternator or dynamo, and a machine that converts electrical energy into mechanical is called motor.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los frecuentes cortes de energía han aumentado la demanda de soluciones de energía de reserva para diversos lugares en los cuales se la utilizan. Cuando existiese un corte de energía, aparte de desperdiciar corriente o variedad de productos, también se puede poner en peligro la vida. Serían algunos ejemplos el extravío de aire acondicionado en verano o de calefacción en invierno, por no mencionar la pérdida de potencia de los equipos que funcionan de forma eléctrica.

Una fuente de energía de reserva permite seguir usando los aparatos esenciales y la iluminación durante un corte de energía o proporcionar electricidad a una casa entera. Los generadores eléctricos son el tipo más común y menos caro de fuentes de energía de reserva. No obstante, entre los consumidores existe una notable falta de conocimiento sobre los tipos disponibles, los detalles técnicos y los requerimientos de medida y de seguridad de estos aparatos.

Los principios físicos relacionados entre sí sirven de base al funcionamiento de los generadores. Por un lado tenemos el principio de la inducción, se refiere a que si un conductor se mueve a través de un campo magnético, o si está situado en las proximidades de un circuito de conducción fijo cuya intensidad puede variar, se establece o se induce una corriente en el conductor.

Los generadores poseen dos unidades básicas: el campo magnético, que es el electroimán con sus bobinas, y la armadura, que es la estructura que sostiene los conductores que cortan el campo magnético y transporta la corriente inducida en un generador, o la corriente de excitación en el caso del motor. La armadura es por lo general un núcleo de hierro dulce laminado, alrededor del cual se enrollan en bobinas los cables conductores.

CAPÍTULO I

ANÁLISIS DE LOS GENERADORES ELECTRICOS

1.1. Sistemas de generación eléctrica

Los sistemas de generación eléctrica transforman la energía química, cinética, térmica y lumínica en energía eléctrica, si se desea la generación de ésta a gran escala se recurre a la implementación de centrales eléctricas, hidráulicas, térmicas o nucleares que son el primer escalón del sistema de generación y distribución del suministro eléctrico. La generación eléctrica se realiza, básicamente, mediante un generador; que difiere en qué fuente de energía primaria se utiliza para convertir la energía que se encuentra dentro de ella, en energía eléctrica.

Desde sus inicios cuando se descubrió la corriente alterna y la forma de producirla en los alternadores, se ha llevado a cabo un inmenso dinamismo tecnológico para llevar la energía eléctrica a diversos y todos los lugares habitados del mundo, por lo tanto, junto a la construcción de grandes y variadas centrales eléctricas, se han construido sofisticadas redes de transporte y sistemas de distribución. Sin embargo, el aprovechamiento ha sido y sigue siendo muy desigual en todo el planeta. Así, los países industrializados o de primer mundo son grandes consumidores de energía eléctrica, mientras que los países en vías de desarrollo apenas disfrutan de las ventajas que se pueden obtener.

Existe una variación a lo largo del día en la demanda de energía eléctrica de una ciudad, región o país. Dicha variación depende en función de muchos factores, entre los cuales se encuentran: tipos de industrias existentes en la zona y turnos que realizan en su producción, climatología extremas de frío o calor, tipo de electrodomésticos que se utilizan más frecuentemente, tipo de calentador de agua que se haya instalado en los hogares, la estación del año y la hora del día en que se considera la demanda. La generación de energía eléctrica debe seguir una curva de demanda y, mientras aumenta la potencia demandada, se debe incrementar la potencia suministrada. Esto conlleva el tener que iniciar la generación con unidades adicionales, ubicadas en la misma central o en centrales reservadas para estos períodos.

De forma general los sistemas de generación se diferencian por el periodo del ciclo en el que está planificado que sean utilizados; se consideran de base la nuclear y la eólica, de valle la termoeléctrica de combustibles fósiles, y de pico la hidroeléctrica.

Las centrales generadoras las cuales dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada se clasifican en: químicas cuando se utilizan plantas de radioactividad, que generan energía eléctrica con el contacto de esta, termoeléctricas tenemos carbón, petróleo, gas, nucleares y solares termoeléctricas; hidroeléctricas se aprovecha corrientes de los ríos o del mar: mareomotrices; eólicas y solares fotovoltaicas. A nivel mundial la mayor parte de la energía eléctrica generada proviene de los dos primeros tipos de centrales descritos anteriormente. Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen en común el elemento generador, constituido por un alternador de corriente, movido mediante una turbina que será distinta dependiendo del tipo de energía primaria utilizada[2].

Desde otro punto de vista, un 64 % de los directivos de las principales empresas eléctricas consideran que en el horizonte de 2018 existirán tecnologías limpias, WN, accesibles y renovables de generación local, lo que obligará a las grandes corporaciones del sector a un cambio de mentalidad.

Tabla N° 1: Tipos de generación de energía

Energía de partida	Proceso físico que convierte dicha energía en energía eléctrica
Energía magneto-mecánica	<p>Son los más frecuentes y fueron tratados como generadores eléctricos genéricos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corriente continua: Dinamo • Corriente alterna: Alternador
Energía química (sin intervención de campos magnéticos)	<p>Celdas electroquímicas y sus derivados: pilas eléctricas, baterías, pilas de combustible.</p> <p>Ver sus diferencias en generadores electroquímicos.</p>
Radiación electromagnética	Fotoelectricidad, como en el panel fotovoltaico

Energía mecánica (sin intervención de campos magnéticos)	<ul style="list-style-type: none"> • Triboelectricidad <ul style="list-style-type: none"> • Cuerpos frotados • Máquinas electrostáticas, como el generador de Van de Graaff • Piezoelectricidad
Energía térmica (sin intervención de campos magnéticos)	Termoelectricidad (efecto Seebeck)
Energía nuclear (sin intervención de campos magnéticos)	Generador termoeléctrico de radioisótopos

1.1.1. Generación térmica

Se denomina energía térmica o termoeléctrica a la forma de energía que resulta de liberar el agua por medio de un combustible para mover un alternador y producir energía eléctrica.

Hacia ya varios años atrás, el hombre ha necesitado generar energía térmica para cubrir sus necesidades de abrigo, alimentación, iluminación, fabricación de herramientas, y también para resolver todos aquellos problemas que no puede afrontar con el sólo uso de su fuerza física, como accionar medios transparentes, maquinarias, armamento, etc.

Para la generación de energía térmica o termoeléctrica se utiliza carbón, petróleo o gas, la forma más convencional para la generación de electricidad es la utilización de combustibles que generan vapor y éste permitirá que las paletas de las turbinas transmitan el movimiento hasta el generador [3].

El motor de gran parte del crecimiento en el sector de la energía limpia global desde el año 2000 proviene de fuentes renovables, que la Agencia Internacional de Energía establece como aquellas que se derivan de procesos naturales, como la luz del sol o el viento, y que se reponen a un ritmo mayor de lo que se consumen.

En el Ecuador existen Centrales térmicas como por ejemplo: Central Térmica Esmeraldas, Guangopolo, Santa Rosa entre otras.

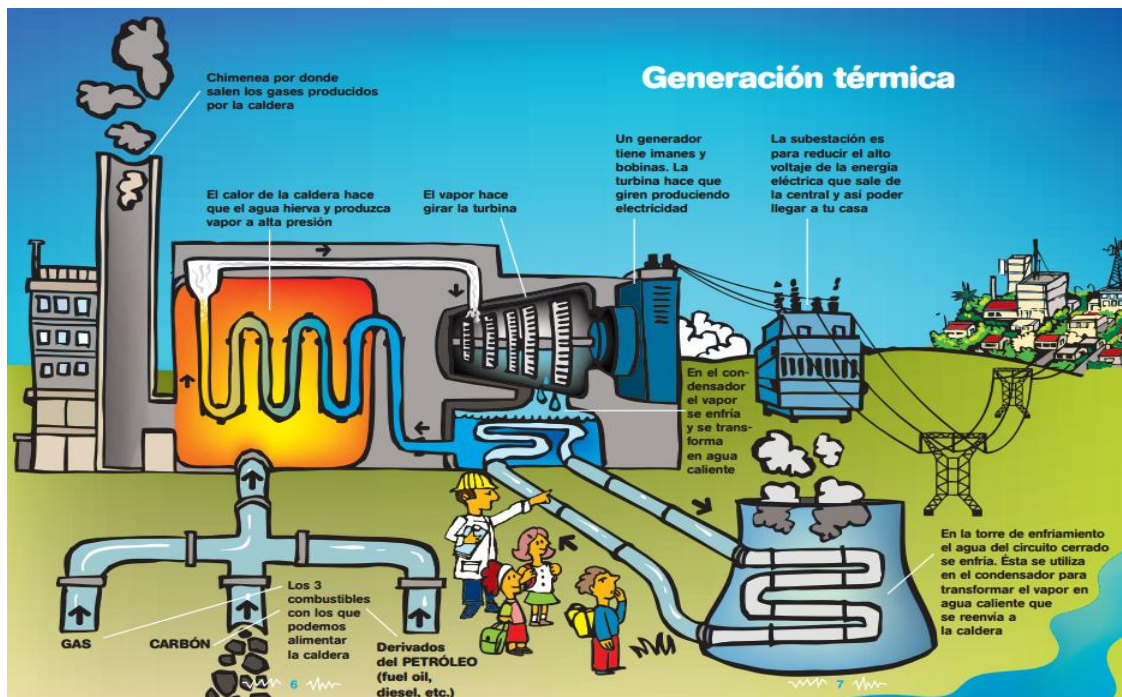


Figura N° 1: Generación Térmica

Fuente: (AGEERA, 2009)

1.1.2. Generación Hidráulica.



Figura N° 2: Sistema de Generación y Distribución por Generación Hidráulica

Fuente: [2]

La fuente principal para este tipo de generación eléctrica es el agua, las turbinas se mueven debido al movimiento de ésta represa en el embalse, es importante resaltar que la represa está ubicada en una cota superior a la turbina hidráulica, en el país entre las más importantes Centrales Hidráulicas están: Paute, Agoyan y otras que están en fase de construcción como: Coca Codo Sinclair, Toachi Pilaton, Minas San Francisco y Quijos.

Como su principal ventaja tenemos que es una fuente de energía limpia, sin residuos y fácil de almacenar. Además, el agua almacenada en embalses situados en lugares altos permite regular el caudal del río.

Y además tenemos como mayor inconveniente que la construcción de centrales hidroeléctricas es costosa y es necesario grandes tendidos eléctricos. Además que, los embalses producen pérdidas de suelo productivo y fauna terrestre debido a la inundación del terreno destinado a ellos. También provocan la disminución del caudal de los ríos y arroyos bajo la presa y alteran la calidad de las aguas.

Una central hidroeléctrica es aquella que genera electricidad mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a más alto nivel que la central.

El agua es conducida mediante una tubería de descarga a la sala de máquinas de la central, donde mediante enormes turbinas hidráulicas se produce la generación de energía eléctrica en alternadores.

El agua que de forma artificial se encuentra almacenada en la presa, tiene gran cantidad de energía potencial, que será transformada en energía eléctrica. Mediante el uso de una válvula, se abre el paso del agua hasta la tubería forzada, que la conducirá hasta la turbina, perdiendo energía potencial y ganando energía cinética.

Cuando el agua llega a la turbina hidráulica hace girar los álabes transformando la energía cinética adquirida en energía de rotación, a su vez, hacen girar al generador eléctrico, el cual transforma la energía de rotación en corriente alterna de tensión media y alta intensidad. Mediante transformadores se convierte en corriente de alta tensión e intensidad baja que es conducida por los cables de alta tensión[4].

El agua, una vez que ya ha cedido su energía, es devuelta al río mediante desagües situados en la parte baja de la presa.

1.1.3. Generación nuclear

El funcionamiento de una central nuclear es similar al de una central térmica, consta de una turbina que gira impulsada por vapor de agua producido en un generador de vapor, haciendo girar a su vez a un generador eléctrico. En el caso de las centrales nucleares hay un gran tanque llamado reactor, similar a una caldera, donde se coloca uranio y “agua pesada” de 1,1 kg. por litro de peso, mientras el “agua común” pesa 1 kg. por litro. El uranio es el combustible que genera energía por fisión nuclear (rotura de los átomos). El átomo de uranio, al ser impactado por un neutrón, se rompe, libera mucho calor y dos o tres neutrones nuevos. Cuando uno de estos neutrones le pega a otro átomo de uranio, lo rompe y libera más calor: esto se llama reacción en cadena. La reacción se controla mediante barras de control, hechas de un metal que absorbe neutrones. El calor producido por la fisión se transporta mediante agua pesada movida por bombas de agua y se utiliza para producir vapor de agua en el generador de vapor. Con ese vapor se mueve la turbina y el generador eléctrico. Lo más importante en las centrales nucleares es la seguridad, que en argentina se mantiene en los niveles internacionales más altos. Existen numerosos sistemas de seguridad que, ante cualquier inconveniente técnico, actúan para resolverlo automáticamente[4].

Para el funcionamiento de la Central Nuclear se utiliza vapor similar al de una Central térmica, para este se utiliza un reactor donde se coloca uranio y “agua pesada” con un peso de 1,1 Kg en un litro, es decir la densidad de agua normal igual 1. El uranio es un combustible que genera calor por rompimiento de átomos, éste es transportado por el agua pesada al generador de vapor con el cual se mueve la turbina y genera energía eléctrica.

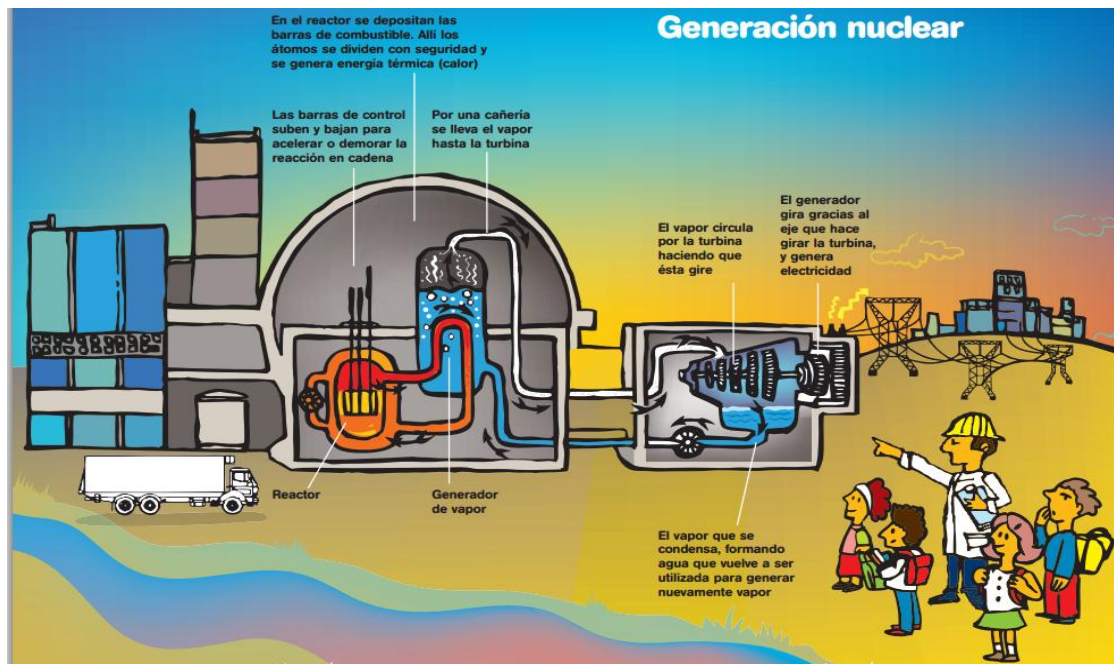


Figura N° 3: Sistema de generación nuclear
Fuente: [3]

1.1.4. Generación Eólica

Es aquella que se obtiene a partir del viento, el cual hace girar a una turbina eólica que ésta compuesta además por un generador interno. Se necesita que el viento tenga una adecuada velocidad para la producción de energía eléctrica.

La energía máxima teórica que puede ser extraída de una masa de aire en movimiento está dada por la expresión:

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2$$

Donde E_c = energía cinética [joule/s]

m = flujo de aire [kg/s]

V = velocidad del viento [m/s]

Si suponemos un área de captación A , perpendicular a la dirección del viento, el flujo de aire circulante que la atraviesa será:

$$m = d A V$$

Siendo d = densidad del aire [kg/m³]

A = área de captación [m^2]

La energía teórica máxima por unidad de tiempo y de área ($A=1$) que podremos extraer de una masa de aire en movimiento, será entonces:

$$P_m = \frac{1}{2} \rho V^3$$

A esta energía se la denomina potencia meteorológica y se la expresa en W/m^2 , como la velocidad del viento, luego de atravesar la superficie de captación, no es nula, la potencia dada por la expresión anterior no será totalmente aprovechable. Se demostró que la máxima energía recuperable, con un aerogenerador ideal, es igual a $16/27$ ($\approx 60\%$) de la energía total. Tomando en cuenta que ningún rotor es ideal, para caracterizarlo es necesario conocer su eficiencia o rendimiento h [4]. La potencia obtenible por unidad de área de rotor, medida en W/m^2 , puede expresarse entonces como [8]:

$$P_a = \frac{1}{2} h \rho V^3$$

y la potencia total para el área descrita por las palas al girar, $A = \pi R^2 = \pi D^2 / 4$, en W/m^2 , queda como:

$$P_t = \frac{1}{2} h \rho (\pi D^2 / 4) V^3$$

siendo: D y R = diámetro y radio del rotor expresado en metros

La densidad media del aire es $1,25 \text{ kg/m}^3$, valor que multiplicado por $\pi/4$ da aproximadamente 1. Por lo tanto, podemos expresar la potencia obtenible de una máquina eólica, tomando el diámetro en metros y la velocidad en metros por segundo, como:

$$P \approx \frac{1}{2} h V^3$$

Los molinos de viento, aeromotores, máquinas eólicas (términos que pueden ser considerados sinónimos), o los aerogeneradores, o turbinas eólicas en su acepción, son dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica.

Aunque existen dos tipos básicos de molinos, eje horizontal y eje vertical, el principio de operación es esencialmente el mismo.

La captación de la energía eólica se realiza mediante la acción del viento sobre las palas, las cuales están unidas al eje a través de un elemento denominado cubo que es un conjunto que recibe el nombre de rotor. El principio aerodinámico, por el cual este conjunto gira, es similar al que hace que los aviones vuelen[5].

Según este principio, el aire que es obligado a fluir por las caras superior e inferior de una placa o perfil inclinado genera una diferencia de presiones entre ambas caras, dando origen a una fuerza resultante (R) que actúa sobre el perfil. Descomponiendo esta fuerza en dos direcciones se obtiene:

1. La fuerza de sustentación (S), o simplemente sustentación, de dirección perpendicular al viento.
2. La fuerza de arrastre (A), de dirección paralela al viento.

Para favorecer la circulación del aire sobre la superficie de las palas, evitar la formación de torbellinos y maximizar la diferencia de presiones, se eligen perfiles de pala con formas convenientes desde el punto de vista aerodinámico. Según como estén montadas las palas con respecto al viento y al eje de rotación, la fuerza que producirá el par motor será predominantemente la fuerza de arrastre o la de sustentación. Con excepción de las panémonas y los rotores tipo Savonius, en todas las máquinas modernas la fuerza dominante es la de sustentación pues permite obtener, con menor peso y costo, mayores potencias por unidad de área del rotor. Analizaremos únicamente el comportamiento aerodinámico de las turbinas eólicas cuyo par motor está originado por las fuerzas de sustentación.

Como la fuerza de sustentación es la única que dará origen al par o cupla motora habrá que diseñar el perfil y ubicar las palas dándole un ángulo de ataque (α) que haga máxima la relación fuerza de sustentación/fuerza de arrastre.

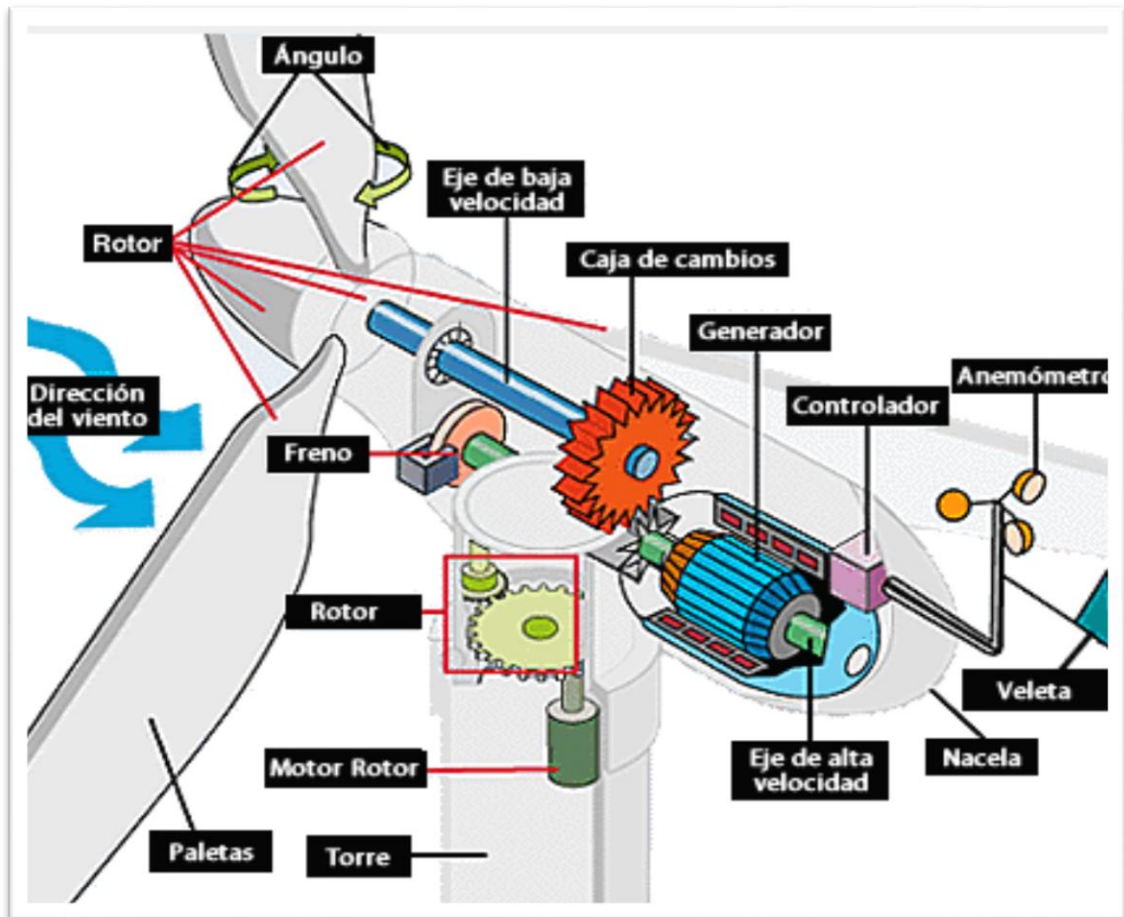


Figura N° 4: Aerogenerador
Fuente: [5]

1.1.5. Generación Geotérmica

Cuando en un área geográfica concreta se cumplen las condiciones geológicas y económicas necesarias para que se puedan explotar los recursos geotérmicos del subsuelo, se dice que en ese punto existe un yacimiento geotérmico.

La generación geotérmica es el calor interno de la Tierra. Es un hecho conocido que en el subsuelo, bajo la tierra que pisamos, la temperatura aumenta con la profundidad, es decir, existe un gradiente térmico y, por lo tanto un flujo de calor desde el interior de la Tierra hacia el exterior. Ello es consecuencia de su estructura interna.

La producción de energía geotérmica tiene como base la utilización de la energía cinética calorífica del vapor y agua a altas temperaturas del subsuelo, insumos que se extraen mediante la perforación de profundos , pozos geotérmicos cuya finalidad es extraer a presión el vapor caliente para llevarlo a través de una red de tuberías

denominada " sistema de acarreo ", hacia la central de generación donde la energía potencial del vapor al chocar contra los álabes de la turbina la hace girar, al mismo tiempo que ésta activa al generador produciéndose así la energía eléctrica que es transferida al transformador, luego a la subestación para ser inyectada al sistema nacional.

La energía geotérmica es una fuente de energía renovable, abundante, de bajo costo y favorable para el medio ambiente ya que no produce gases tóxicos como CO₂ que produce el efecto invernadero, ya que no se quema combustible fósil que produce el calentamiento global. La geotermia solo utiliza el vapor de agua calentada en calderas naturales que luego de ser utilizado es condensado y reinyectado nuevamente al subsuelo. No se pueden negar los impactos al medio ambiente pero sí son mínimos, y pueden ser fácilmente prevenidos o mitigados evitando así efectos secundarios en el medio ambiente.

Las principales desventajas de la geotermia que se pueden mencionar son: el alto nivel de incerteza en la búsqueda del recurso a explotar durante la perforación de los pozos geotérmicos, la fuerte inversión que requiere y el largo proceso de desarrollo de un proyecto productivo a gran escala.

La Tierra está constituida básicamente por tres capas concéntricas: el núcleo que es la más interna tiene una composición de hierro fundido a una temperatura superior de los 4.000°C; el manto que es la capa intermedia formada por silicatos de hierro y magnesio tiene un espesor de 2.900 km y su temperatura varía desde los 4.000°C en su contacto con el núcleo hasta los 800-1000°C de su superficie exterior que contacta con la corteza que es la capa más superficial y visible por el hombre. Esta corteza tiene un espesor variable de 5 a 35 km y está formada por silicatos de aluminio y magnesio, variando su temperatura entre los 800-1000°C del contacto con el manto y los 15-20°C de la superficie que conocemos. El flujo medio de calor registrado en la corteza terrestre es del orden de 1,5 μ cal.cm⁻².seg⁻¹[6].

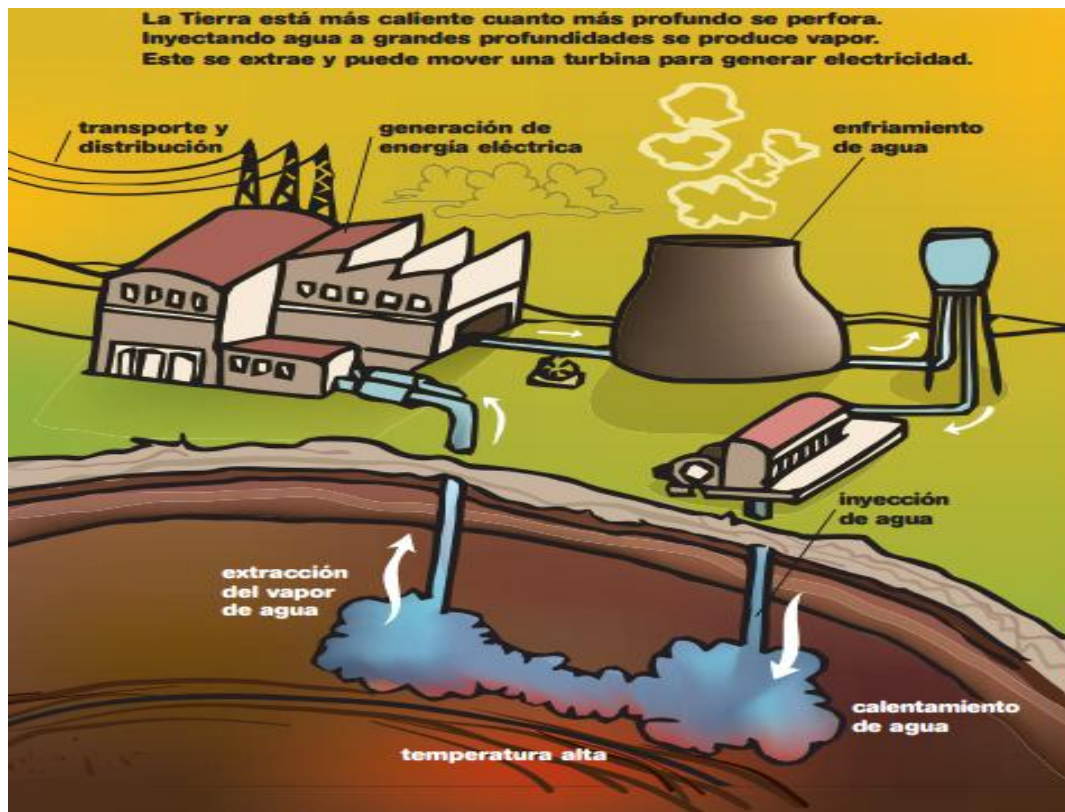


Figura N° 5: Sistema de generación Geotérmica
Fuente: [6]

1.1.6. Generación Mareomotriz

La generación mareomotriz es la que se obtiene aprovechando las mareas: mediante su empalme a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más segura y aprovechable. Es un tipo de energía renovable, en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y es limpia ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes gaseosos, líquidos o sólidos. Sin embargo, la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el coste económico y ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han impedido una penetración notable de este tipo de energía.

Otras formas de extraer energía del mar son: las olas también llamada energía undimotriz, de la diferencia de temperatura entre la superficie y las aguas profundas del océano, el gradiente térmico oceánico; de la salinidad, de las corrientes marinas o la energía eólica marina.

Con un promedio de 4 Km. De profundidad, mares y océanos cubren las tres cuartas partes de la superficie de nuestro planeta. Constituyen un enorme depósito de energía siempre en movimiento. En la superficie los vientos provocan las olas que pueden alcanzar hasta 12 metros de altura, 20 metros debajo de la superficie, las diferencias de temperatura (que pueden variar de -2°C a 25°C) engendran corrientes; por último, tanto en la superficie como en el fondo, la conjugación de las atracciones solar y lunar.

Las mareas, es decir, el movimiento de las aguas del mar, producen una energía que se transforma en electricidad en las centrales mareomotrices. Se aprovecha la energía liberada por el agua de mar en sus movimientos de ascenso y descenso de las mareas (flujo y reflujo). Ésta es una de las nuevas formas de producir energía eléctrica[9].

El sistema consiste en aprisionar el agua en el momento de la alta marea y liberarla, obligándola a pasar por las turbinas durante la bajamar. Cuando la marea sube, el nivel del mar es superior al del agua del interior de la ría. Abriendo las compuertas, el agua pasa de un lado a otro del dique, y sus movimientos hacen que también se muevan las turbinas de unos generadores de corrientes situados junto a los conductos por los que circula el agua. Cuando por el contrario, la marea baja, el nivel del mar es inferior al de la ría, porque el movimiento del agua es en sentido contrario que el anterior, pero también se aprovecha para producir electricidad.

La energía gravitatoria terrestre y lunar, la energía solar y la eólica dan lugar, respectivamente, a tres manifestaciones de la energía del mar: mareas, gradientes térmicos y olas. De ella se podrá extraer energía mediante los dispositivos adecuados.

La energía de las mareas o mareomotriz se aprovecha embalsando agua del mar en ensenadas naturales y haciéndola pasar a través de turbinas hidráulicas.

La leve diferencia de temperaturas llega entre la superficie y las profundidades del mar (gradiente térmico), constituye una fuente de energía llamada mareomotérmica.

La energía de las olas es producida por los vientos y resulta muy irregular. Ello ha llevado a la construcción de múltiples tipos de máquinas para hacer posible su aprovechamiento.

Las tres categorías de movimientos de las aguas del mar:

Debido a las acciones conjuntas del Sol y la Luna se producen tres tipos de alteraciones en la superficie del mar:

- Las corrientes marinas
- Las ondas y las olas
- Las mareas

Las corrientes marinas son grandes masas de agua que, como consecuencia de su calentamiento por la acción directa y exclusiva del Sol, se desplazan horizontalmente; son, pues, verdaderos ríos salados que recorren la superficie de los océanos.

En su formación influye también la salinidad de las aguas. La anchura y profundidad de las corrientes marinas son, a veces considerables, ésta última alcanza en algunos casos centenares de metros. El sentido en el que avanzan es diferente en los hemisferios, boreal y austral. Algunas corrientes pasan de uno a otro hemisferio, otras se originan, avanzan, se mueven y se diluyen o mueren en el mismo hemisferio en el que nacen[7].

Las trayectorias de tales corrientes son constantes, y ésta circunstancia es la que aprovechó el hombre durante la larga época de la navegación a vela; fue la primera y única utilización de la fuerza de las corrientes marinas.

Resulta sencillo el funcionamiento de una planta mareomotriz, cuando se eleva la marea se abren las compuertas del dique la cual ingresa en el embalse. Después cuando llega a su nivel máximo el embalse, se cierran las compuertas. Después, cuando la marea desciende por debajo del nivel del embalse alcanzando su amplitud máxima entre este y el mar se abren las compuertas dejando pasar el agua por las turbinas a través de los estrechos conductos.

Es indispensable el aprovechamiento de la diferencia de altura entre las mareas en donde se puede producir energía eléctrica. Tanto que dependiendo del lugar, el nivel del mar varía desde unos 8 hasta 14 metros. Cuando el nivel sube quiere decir pleamar, el agua ingresa a una represa y cuando alcanza su mínimo es decir bajamar, se libera el agua embalsada en la represa, pasando por una turbina/generador produciendo energía eléctrica. Los generadores pueden producir energía en doble sentido esto quiere decir que cuando entra y cuando sale el agua.

Además tenemos como ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Auto renovable.
- No contaminante.
- Silenciosa.
- Bajo costo de materia prima.
- No concentra población.
- Disponible en cualquier clima y época del año.

Desventajas:

- Impacto visual y estructural sobre el paisaje costero.
- Localización puntual.
- Dependiente de la amplitud de mareas.
- Traslado de energía muy costoso.
- Efecto negativo sobre la flora y la fauna.
- Limitada.

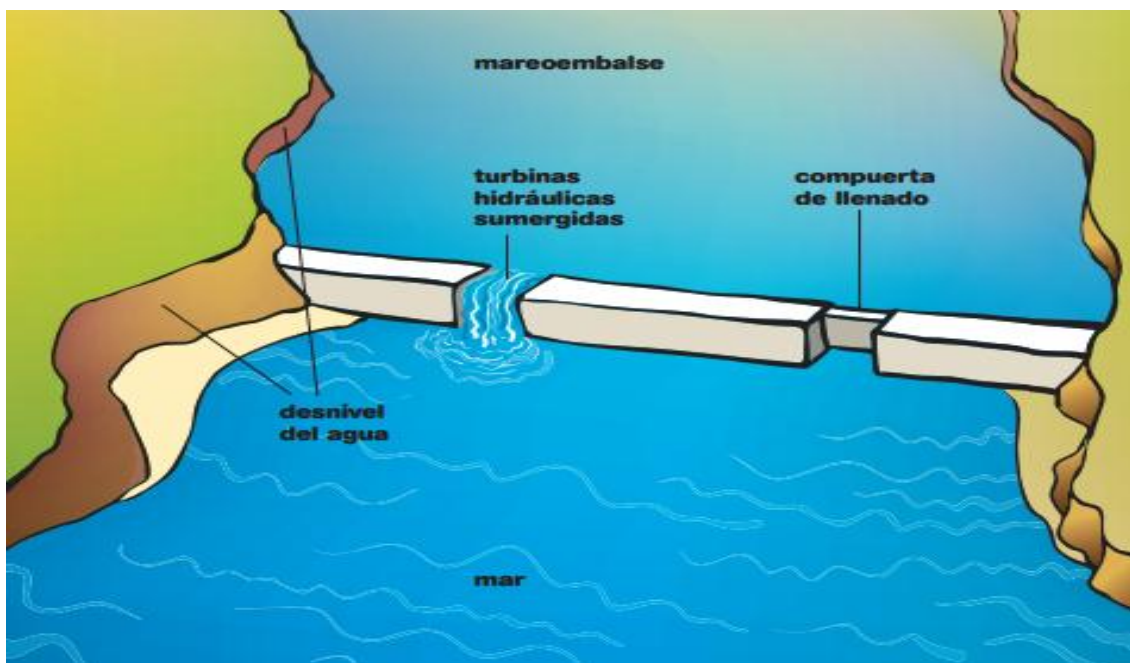


Figura N° 6: Sistema de generación Mareomotriz
Fuente: [7]

1.2. Fundamentos de los generadores eléctricos

El generador eléctrico es todo dispositivo que es capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos llamados polos, terminales o bornes, transformando la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura denominada también estator.

Si se produce un movimiento relativo por alguna fuerza mecánica entre los conductores y el campo, se genera una fuerza electromotriz (F.E.M.) [8].

La corriente que se genera es corriente alterna, la cual puede ser rectificada para obtener una corriente continua. Los generadores de corriente alterna en su mayoría son trifásicos.

Los generadores se clasifican fundamentalmente en dos tipos:

- Primarios
- Secundarios

1.2.1 Generador primario

Se caracteriza principalmente por convertir en energía eléctrica la energía que proviene de otra naturaleza.

Un generador primario es capaz de convertir en energía eléctrica, otro tipo de energía, por ejemplo la de los dinamos: Corriente directa, de los alternadores: Corriente alterna, etc.

Se ha considerado en general, conversiones directas de energía. Considerando como por ejemplo, el hidrógeno, es energía química, que puede ser convertida de forma directa en energía eléctrica en una pila de combustible, también llamada célula o celda de combustible.

Esta produce electricidad de una fuente externa de combustible y de oxígeno o de otro agente oxidante en contraposición a la capacidad limitada de almacenamiento de energía que posee una batería. Está diseñada para permitir el abastecimiento continuo de los reactivos que se van consumiendo.

Su combustión podría ser también con oxígeno y con ello liberar energía térmica, de la que se podría expansionar un gas obteniendo así energía mecánica que haría girar un alternador para que, por inducción magnética, obtener la corriente deseada. Convierte principalmente la energía mecánica en energía eléctrica por ejemplo los alternadores, dinamos, aerogeneradores, etc.

La característica principal de cada generador es su fuerza electromotriz (FEM), simbolizada por la letra griega épsilon ϵ y medida en voltios (v) y se define como el trabajo que el generador realiza para pasar la carga positiva del polo negativo al positivo por el interior del generador [10].

Existen dos generadores ideales:

- Generador de voltaje: Un generador de voltaje ideal mantiene un voltaje fijo independiente de la resistencia de la carga que pueda estar conectada.
- Generador de corriente: El generador de corriente ideal es el que mantiene una corriente constante por el circuito externo con independencia de la resistencia de la carga. El generador mencionado no existe en la práctica.

1.2.2 Generadores Secundarios

Su principal caracterización quiere decir que puede obtener la corriente eléctrica desde otra fuente, para luego almacenarla y estar disponible para abastecer a otros aparatos o accesorios eléctricos. Estos generadores, al ir perdiendo su energía, deben de ser alimentados nuevamente por la fuente que los proveyó de energía.

Los generadores secundarios se caracterizan por obtener la energía eléctrica desde otra fuente, diferente a los generadores primarios, por cuanto éstos reciben, almacenan y luego proveen la energía acumulada para el consumo eléctrico. Estos generadores, al ir perdiendo su energía deben ser alimentados nuevamente por la fuente que los proveyó de energía. Los ejemplos más prácticos de estos generadores secundarios son la batería de automóvil y baterías de celulares.

Los generadores secundarios son diferentes de los primarios, ya que estos reciben, acumulan, luego proveen la energía acumulada. Otro ejemplo de un generador secundario es el generador que, para proveer energía eléctrica debe de conectarse a un motor.

1.3. Elementos de los generadores eléctricos

Las piezas fundamentales que conforman el generador eléctrico, se detalla a continuación:

- Estator
- Rotor
- Sistema de Enfriamiento
- Excitatriz

1.3.1. Estator

El estator es la parte fija donde generalmente está ubicado el devanado de armadura. Las bobinas se encuentran devanadas en núcleos de acero con la finalidad de aprovechar la mayor cantidad de flujo magnético. Al circular el flujo a través del núcleo de acero, induce corrientes conocidas como corrientes parásitas o corrientes de Eddy que generan pérdidas, para minimizar este efecto es necesario laminar el núcleo como se hace en los transformadores. Los conductores en el devanado del estator están ubicados paralelamente al eje del generador si se tratara de generadores trifásicos se tiene tres devanados de armadura, una para cada fase, y por lo general se encuentran conectados en estrella, con el neutro sólidamente puesto a tierra o a través de una impedancia.

El término aplica principalmente a la construcción de máquinas eléctricas y dependiendo de la configuración de la máquina, el estator puede ser:

- El alojamiento del circuito magnético del campo en las máquinas de corriente continua. En este caso, el estator interactúa con la armadura móvil para producir par motor en el eje de la máquina. Su construcción puede ser de imán permanente o de electroimán, en cuyo caso la bobina que lo energiza se denomina devanado de campo.
- El alojamiento del circuito de armadura en las máquinas de corriente alterna. En este caso, el estator interactúa con el campo rotante para producir el par motor y su construcción consiste en una estructura hueca con simetría cilíndrica, hecha de láminas de acero magnético apiladas, para así reducir las pérdidas debidas a la histéresis y las corrientes de Foucault.

Las partes principales del estator de un generador de corriente alterna son:

- Sistema de conexión en estrella.
- Sistema de conexión en delta.
- Componentes mecánicas

1.3.1.1. Sistema de conexión en estrella

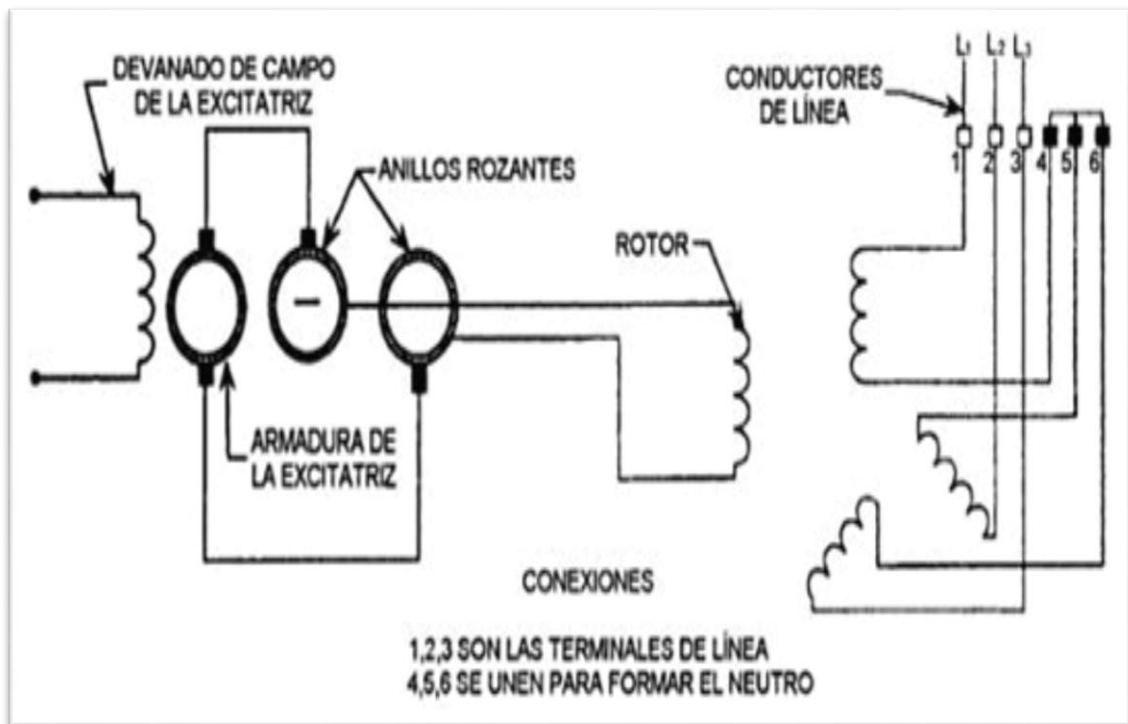


Figura 1.3: Generador Conectado en Estrella
Fuente: [9]

La conexión en estrella se designa por la letra Y, esta se consigue uniendo los terminales de las tres bobinas en un punto común (T_4 , T_5 , T_6), que se denomina neutro y generalmente se conecta a tierra, en cambio los otros terminales se conectan a sus respectivas fases (T_1 , T_2 , T_3) [11].

En la conexión en estrella, cada generador se comporta como si fuera monofásico y produjera una tensión de fase o tensión simple. Estas tensiones serían U_1 , U_2 y U_3 . La tensión compuesta es la que aparecerá entre dos fases. Estas serán U_{12} , U_{13} y U_{23} , de manera que:

$$U_{12}=U_1-U_2$$

En la conexión en estrella:

$$U_L = \sqrt{3}U_F$$

Cada una de las tensiones de línea, se encuentra adelantada 30° respecto a la tensión de fase que tiene el mismo origen. Esto se aprecia claramente si representamos vectorialmente el diagrama de tensiones de fase y de línea en una estrella:

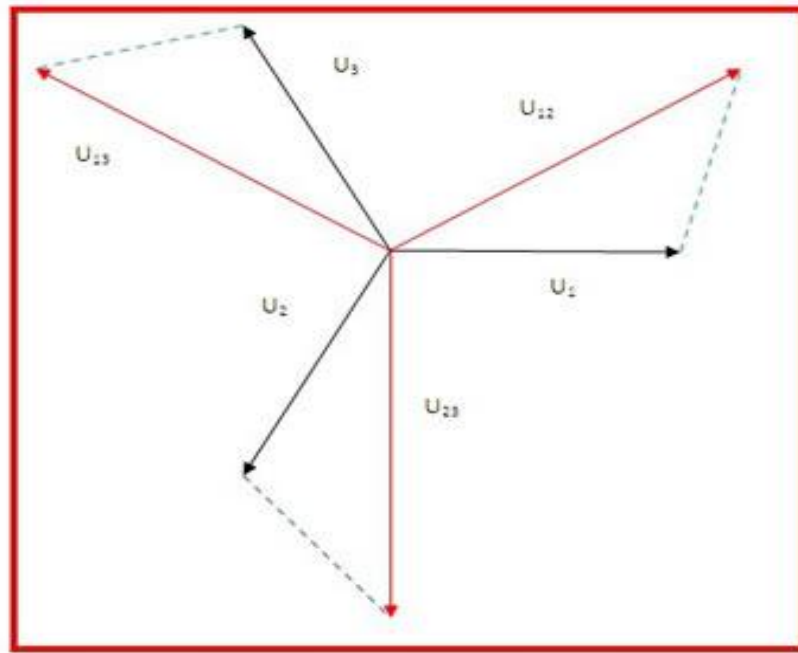


Figura N° 7: Diagrama de tensiones de fase y de línea
Fuente: [9]

Los devanados de las fases están en serie con los conductores de línea, por lo que las intensidades de fase y de línea serán iguales:

$$I_L = I_F$$

1.3.1.2. Sistema de conexión en Delta

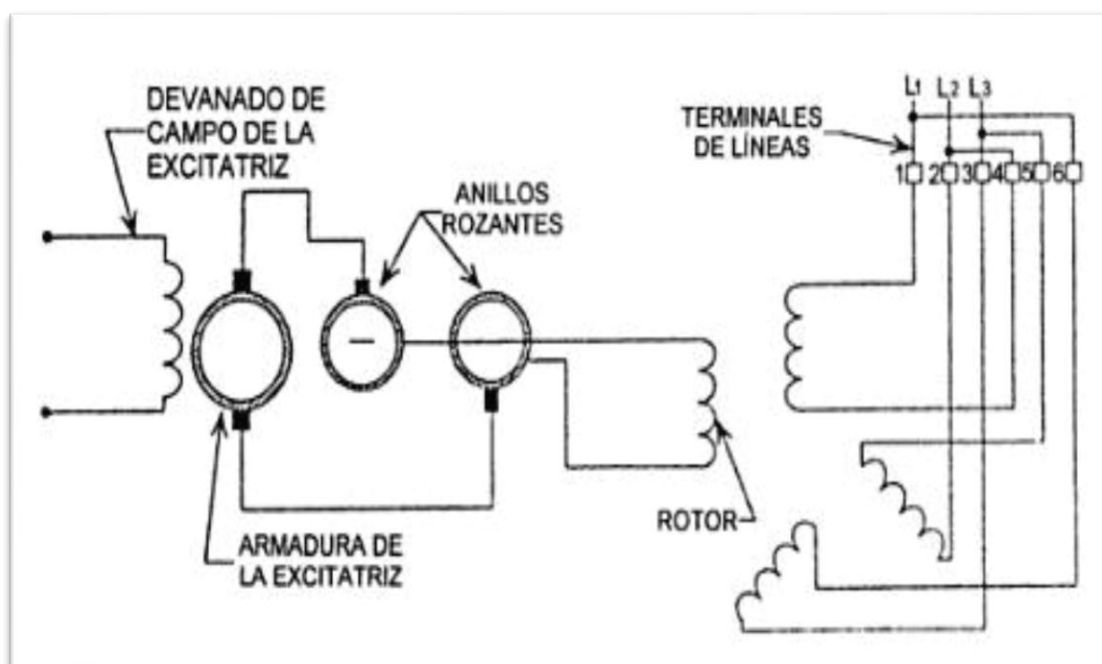


Figura N° 8: Generador Conectado en Delta
Fuente: [9]

Conocida como triángulo y se realiza uniendo el final de una bobina con el principio de la siguiente, hasta cerrar la conexión formando un triángulo de allí su otro nombre. Es una conexión sin neutro. Las fases salen de los vértices del triángulo. Tiene un menor voltaje sin embargo incrementa la corriente con respecto a la conexión en estrella.

La conexión delta se refiere a la conexión en forma de un triángulo, en el cual cada uno de sus lados sería una de las bobinas, por lo que se conectaría en la línea de voltaje un par de puntas de las bobinas.

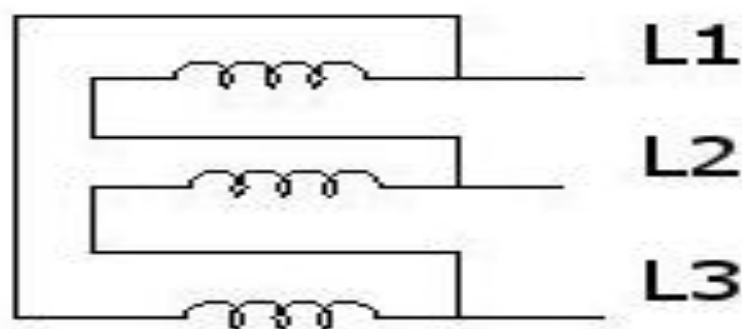


Figura N° 9: Conexión de fuentes en estrella.
Fuente: Elaborado por el investigador

En este tipo de conexión, las tensiones de fase y de línea son iguales, porque los conductores de línea salen de los vértices del triángulo y la tensión entre ellos es producida por la bobina correspondiente.

Entonces, en la conexión en triángulo:

$$U_L = U_F$$

Esta conexión sólo utiliza tres conductores, puesto que no existe neutro. Si las tensiones forman un sistema equilibrado, las intensidades de línea son, con respecto a las de fase:

$$I_L = \sqrt{3} I_F$$

Cada intensidad de línea se encuentra retrasada 30° respecto de la intensidad de fase, como puedes observar si representamos vectorialmente las intensidades en una conexión de fuentes en triángulo:

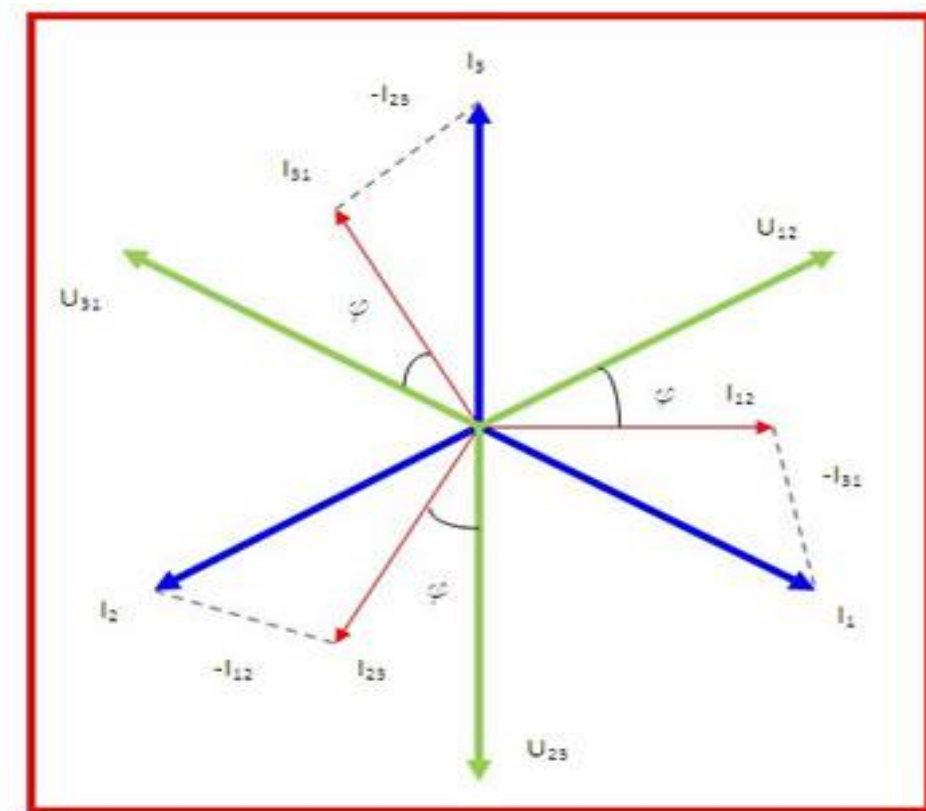


Figura N° 10: Diagrama vectorial de intensidades en la conexión de fuentes en triángulo.

Fuente: Elaborado por el investigador

1.3.2. Componentes mecánicas

- La carcasa: La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser: Totalmente cerrada, abierta, a prueba de goteo, a prueba de explosiones y de tipo sumergible.
- El núcleo: La parte activa del estator es formada de láminas segmentadas de acero y silicio de 0,5mm de espesor y con bajo factor de pérdidas. Cada segmento, formado por las ranuras, la corona del anillo magnético y asientos de las cuñas que interconectan el núcleo a la carcasa, es estampado, rebabado y cubierto con una fina camada de barniz eléctricamente aislante y resistente a altas temperaturas y presiones.
- La caja de terminales

1.3.3. El rotor

El rotor es la parte móvil del generador y es donde se ubica comúnmente el devanado de campo, este último necesita la circulación de corriente continua para producir el campo magnético constante. Debido a que el rotor está en movimiento, resulta difícil poder alimentar al devanado de campo con corriente continua, por esa razón se requiere de un sistema de anillos rozantes y escobillas los cuales permiten el ingreso de la corriente desde una fuente externa.

Hay dos tipos de rotores para generadores sincrónicos: rotor cilíndrico y rotor de polos salientes. El rotor de polos salientes se usa principalmente en generadores hidráulicos porque las turbinas hidráulicas operan generalmente a velocidades bajas y por lo tanto un gran número de polos es requerido para poder generar voltaje y a una frecuencia de 50 ó 60 Hz.

Las turbinas a gas y vapor funcionan a altas velocidades por lo que requieren un número menor de polos, por esta razón se puede aplicar un rotor de tipo cilíndrico porque estos concentran grandes cantidades de masa en sus extremos y a altas velocidades puede producirse una acumulación muy grande de inercia que podría desubicar el rotor del eje y producirse un daño severo.

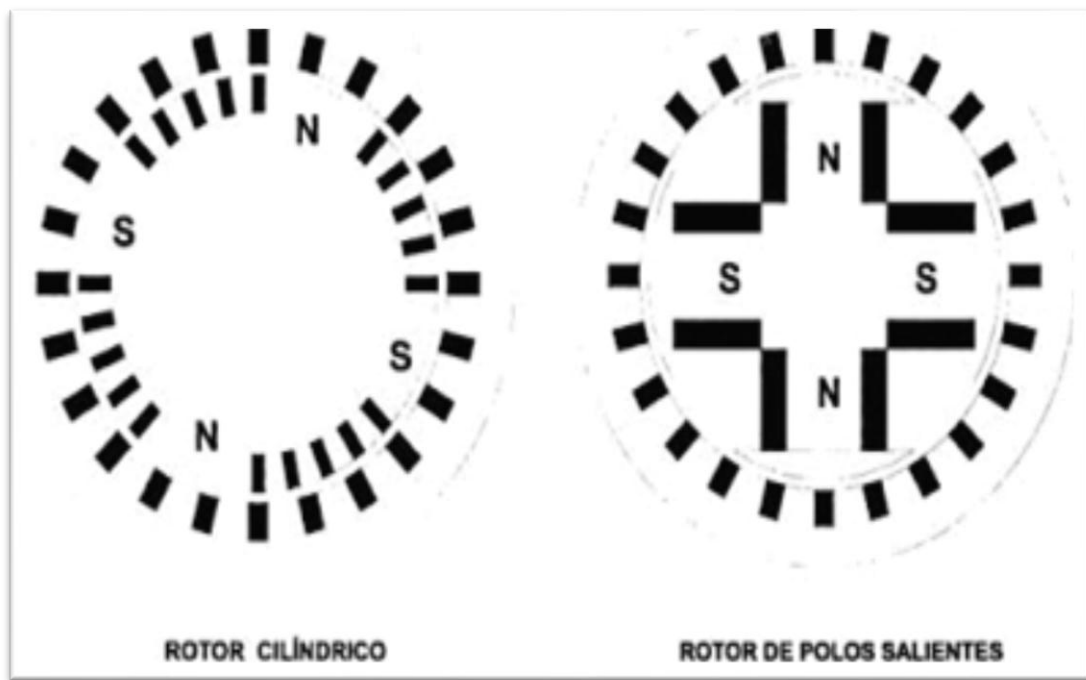


Figura N° 11: Rotor cilíndrico y de polos salientes
Fuente: [9]

En el rotor se ubican las bobinas del estator de campo que potencian el voltaje en el devanado de la armadura, en donde se localizan las bobinas que deciden si el generador es trifásico o monofásico.

1.3.3.1. Rotor Jaula de ardilla

Es un cilindro montado sobre un eje, internamente tiene barras conductoras longitudinales de aluminio o cobre y conectados juntos en ambos extremos poniendo a cortocircuito los anillos, el nombre proviene a la semejanza a la rueda de hámster.

Los devanados inductores en el estator de un motor de inducción instan al campo magnético a rotar alrededor del rotor. El movimiento relativo entre este campo y la rotación del rotor induce corriente eléctrica, un flujo en las barras conductoras. Alternadamente estas corrientes que fluyen longitudinalmente en los conductores reaccionan con el campo magnético del motor produciendo una fuerza que actúa tangente al rotor, dando por resultado un esfuerzo de torsión para dar vuelta al eje [12]. En efecto, el rotor se lleva alrededor el campo magnético, pero en un índice levemente más lento de la rotación. La diferencia en velocidad se llama "deslizamiento" y aumenta con la carga.

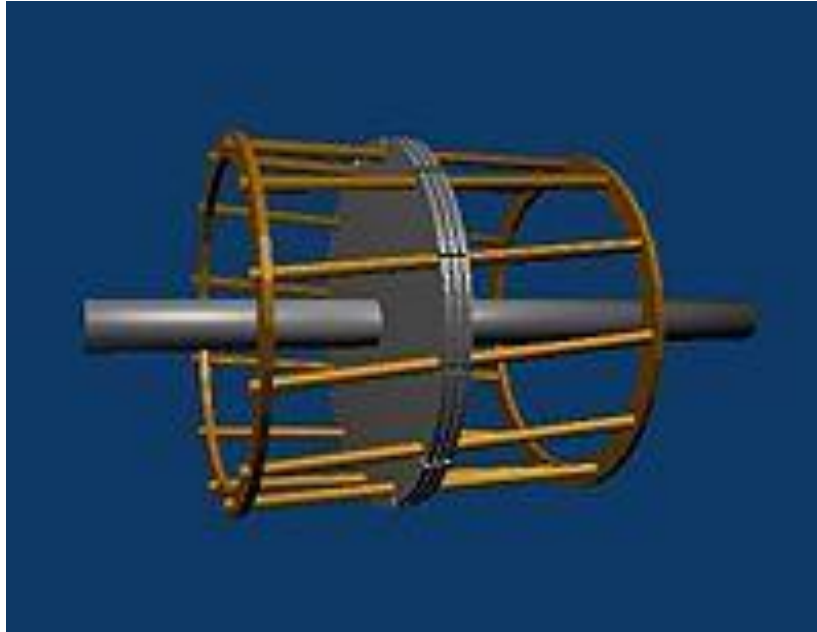


Figura N° 12: Esquema del rotor de jaula de ardilla.

Fuente: [8]

A menudo, los conductores se inclinan levemente a lo largo de la longitud del rotor para reducir ruido y para reducir las fluctuaciones del esfuerzo de torsión que pudieron resultar, a algunas velocidades, y debido a las interacciones con las barras del estator. El número de barras en la jaula de la ardilla se determina según las corrientes inducidas en las bobinas del estator y por lo tanto según la corriente a través de ellas. Las construcciones que ofrecen menos problemas de regeneración emplean números primos de barras.

El núcleo de hierro sirve para llevar el campo magnético a través del motor. En estructura y material se diseña para reducir al mínimo las pérdidas. Las láminas finas, separadas por el aislamiento de barniz, reducen las corrientes parásitas que circulan resultantes de las corrientes de Foucault.

El material, un acero bajo en carbono pero alto en silicio (llamado por ello acero al silicio), con varias veces la resistencia del hierro puro, en la reductora adicional. El contenido bajo de carbono le hace un material magnético suave con pérdida bajas por histéresis.

El mismo diseño básico se utiliza para los motores monofásicos y trifásicos sobre una amplia gama de tamaños. Los rotores para trifásica tienen variaciones en la profundidad y la forma de las barras para satisfacer los requerimientos del diseño.

Este motor es de gran utilidad en variadores de velocidad.

Las planchas magnéticas (de 0'4 a 0'5 mm de espesor) que formarán el empilado del rotor se troquean con unos orificios periféricos, cuya forma varía según los casos, que una vez encarados en el empilado dan un paso cilíndrico que sustituye las clásicas ranuras de los rotores bobinados.

Por las ranuras obtenidas pasan unas barras de cobre o aluminio que tienen su misma sección y que sobresalen un poco por ambos extremos del empilado. Estos conductores de cobre o aluminio se cierran sobre dos anillos del mismo metal que reciben el nombre de tapas del rotor.

1.3.3.2.Rotor Bobinado

El rotor bobinado tiene el arrollamiento constituido por unas bobinas de hilo de cobre por lo general en cuyos extremos están conectados a los anillos rozantes por los que se alimentan a las bobinas, para el arrollamiento del rotor se utiliza conductores de sección circular o rectangular aislados del barniz apropiado.

Las ranuras abiertas tienen la ventaja de que las bobinas que se han construido previamente, pueden colocarse en su posición a través de la parte superior de la ranura y de esta manera el arrollamiento queda montado en poco tiempo; además las bobinas pueden sacarse fácilmente en caso de reparación o de sustitución.

Pero las ranuras abiertas aumentan la reluctancia del circuito magnético por lo que en muchas ocasiones, resultan más adecuadas las ranuras semicerradas; estas ranuras permiten que se inserten en ellas bobinas previamente construidas, pero éstas han de tener un ancho no superior a la mitad del ancho de ranura, por lo que el montaje del arrollamiento será algo más costoso. De todas formas y debido a las mejores condiciones magnéticas obtenidas con las ranuras semicerradas, éstas son las más utilizadas en los motores de rotor bobinado para medianas y grandes potencias.

1.3.4. Sistema de Enfriamiento

Los sistemas de enfriamiento en los generadores son:

- Aire enfriado
- Intercambiador de calor aire-aire
- Intercambiador de calor aire-agua

1.3.4.1. Enfriamiento por aire enfriado

Este método se usa tomando el aire del exterior y circulando a través del estator y del rotor y el aire caliente se extrae por la parte posterior teniendo un solo ciclo de trabajo.

1.3.4.2. Intercambiador de calor aire-aire

Este método de enfriamiento es diferente al método convencional debido a que se realiza una recirculación del mismo aire a través del estator, además tiene la ventaja de mantener limpios los aislamientos.

1.3.4.3. Intercambiador de calor aire-aire

El calor que genera tanto el estator como rotor circula a través de un enfriador que constituye de un cierto número de tubos de cobre, lo cual hace necesario tener una fuente de agua para enfriamiento, que debe circular a través de estos enfriadores, se evita con este método que se introduzcan elementos contaminantes para los devanados.

1.3.5. Excitatriz

1.3.5.1. Excitatriz de corriente directa

Los pequeños generadores eléctricos utilizan sistemas de excitación en base a corriente directa conectados directamente al eje del generador. Un problema que presenta este tipo de sistemas es que requieren un mayor mantenimiento.

1.3.5.2. Excitatriz sin escobillas

Este sistema funciona similar a la excitatriz de corriente directa con la diferencia que se eliminan las escobillas, la excitatriz es un generador de corriente alterna el cual se rectifica a través de diodos montados en la estructura rotatoria en los devanados, este

voltaje se aplica a los devanados de campo del generador y se realiza un control de corriente de campo para obtener un voltaje deseado en los terminales.

1.3.5.3.Excitatriz estática

Se elimina la excitatriz rotatoria sin embargo se conserva los anillos rozantes y escobillas, el sistema de control de voltaje realiza un adecuado paso de corriente de campo para regular el voltaje del generador, estos sistemas, proporcionan una respuesta más rápida que los otros sistemas de excitación para control de voltaje.

1.3.6. Funcionamiento del Generador eléctrico

El principio de funcionamiento de los generadores se basa en el fenómeno de inducción electromagnética.

Esta ley nos dice que el voltaje inducido en un circuito es directamente proporcional al cambio del flujo magnético en un conductor o espira. Esto quiere decir que si tenemos un campo magnético generando un flujo magnético, necesitamos una espira por donde circule una corriente para conseguir que se genere la f.e.m. (fuerza electromotriz) [8].

Este descubrimiento, realizado en el año 1830, permitió un año después la creación del disco de Faraday. El disco de Faraday consiste en un imán en forma de U, con un disco de cobre de doce pulgadas de diámetro y 1/5 de pulgas de espesor en medio colocado sobre un eje, que está girando, dentro de un potente electroimán. Al colocar una banda conductora rozando el exterior del disco y otra banda sobre el eje, comprobó con un galvanómetro que se producía electricidad mediante imanes permanentes. Fue el comienzo de las modernas dinamos. Es decir, generadores eléctricos que funcionan por medio de un campo magnético. Era muy poco eficiente y no tenía ningún uso como fuente de energía práctica, pero demostró la posibilidad de generar electricidad usando magnetismo y abrió la puerta a los conmutadores, dinamos de corriente continua y finalmente a los alternadores de corriente [8].

La cantidad de corriente inducida o f.e.m. dependerá de la cantidad de flujo magnético (también llamado líneas) que la espira pueda cortar, cuanto mayor sea el número, mayor variación de flujo generara y por lo tanto mayor fuerza electromotriz.

Al hacer girar la espira dentro del imán conseguiremos una tensión que variará en función del tiempo. Esta tensión tendrá una forma alterna, puesto que de 180° a 360° los polos estarán invertidos y el valor de la tensión será negativo.

El principio de funcionamiento del alternador y de la dinamo se basa en que el alternador mantiene la corriente alterna mientras la dinamo convierte la corriente alterna en corriente continua.

El funcionamiento del generador de corriente alterna, se basa en el principio general de inducción de voltaje en un conductor en movimiento cuando atraviesa un campo magnético. Este generador consta de dos partes fundamentales, el inductor, que es el que crea el campo magnético y el inducido que es el conductor el cual es atravesado por las líneas de fuerza de dicho campo.

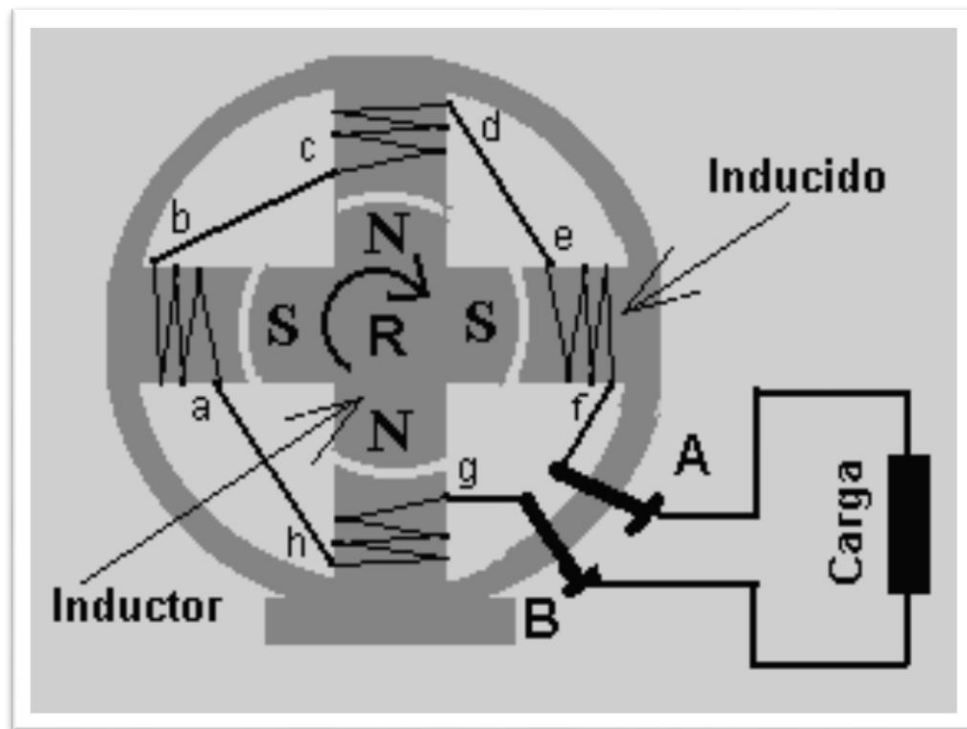


Figura N° 13: Elementos de un generador
Fuente: [9]

1.3.6.1. La Forma Como Trabajan los Generadores

Para estudiar la forma en como convierten los generadores la energía mecánica en energía eléctrica, se puede usar la siguiente figura, que representa un generador elemental, en donde el campo magnético principal viene de un par de imanes

permanentes, obsérvese que la cara del polo norte se encuentre enfrente de la cara del polo sur, la forma curvada de los polos produce el campo más intenso. La bobina de la armadura esta devanada sobre el rotor, cada extremo de esta bobina esta fijo a su propia banda metálica, estas bandas se llaman anillos rozantes y es donde aparece el voltaje generado.

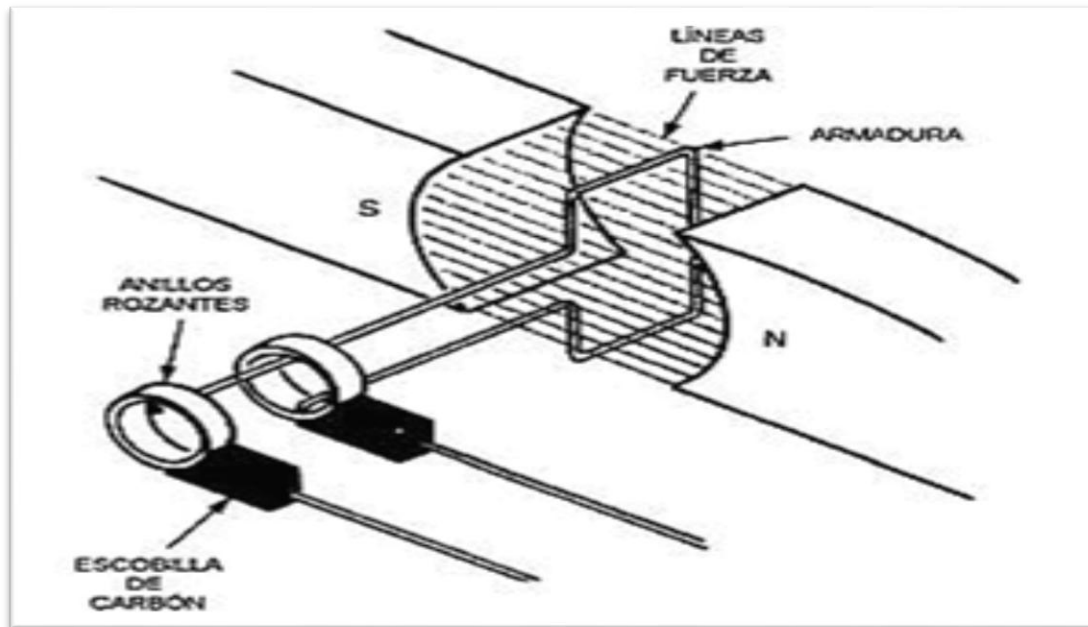


Figura N° 14: Elementos de un generador
Fuente: [9]

Para coleccionar el voltaje generado, se debe tener una trayectoria eléctrica de los anillos rozantes a las terminales del generador, esto se hace con pequeñas piezas metálicas o de carbón llamadas Escobillas que se encuentran fuertemente fijas a los anillos rozantes por medio de resortes, en la medida que la bobina gira, los conductores cortan el campo magnético, esto produce el voltaje inducido en la bobina.

Para generar un voltaje trifásico existen tres bobinas en el estator desfasadas 120° y son alimentadas por corrientes iguales en módulo, entonces producen un campo magnético giratorio. La velocidad del rotor tiene un límite finito.

1.3.6.2. Funcionamiento en vacío y con carga

Al girar el rotor a cierta velocidad, se inducen fuerza electromotriz en los arrollamientos de las fases del estator, que están desfasadas 120° una con respecto a otra, que corresponde a la separación espacial existente entre las bobinas del estator.

La característica del funcionamiento en vacío lo constituye la curva $E_o = f(I_e)$ (corriente de excitatriz) que expresa la FEM (fuerza electromotriz) en bornes de la maquina estando en vacío en función de la corriente de excitación, no hay voltaje solo existe la FEM.



Figura N° 15: Curva de vacío
Fuente: [10]

Cuando empieza a aumentar la I_e (Intensidad de Excitación), el voltaje en circuito abierto crece rápidamente, y cuando es muy grande se incrementara un porcentaje menor al anterior.

Cuando se conecta una impedancia de carga a los terminales de carga con una determinada corriente de excitación (I_e), se obtiene una tensión en los bornes de la máquina, cuando se incrementa la carga se incrementa la potencia real o la reactiva suministrado por el generador, por ende aumenta la corriente que suministra el generador.

Los generadores son máquinas sincrónicas cuya frecuencia depende totalmente de la velocidad de rotación y del número de polos que tiene, el valor del voltaje que se genera depende la velocidad, la excitación del campo y del factor de potencia de la carga lo que significa que la frecuencia eléctrica producida esta sincronizada.

$$f = \frac{np}{120}$$

1.3.6.3. Potencia en el Generador

Un generador sincrónico utiliza la potencia mecánica para convertir en potencia eléctrica, cualquiera que sea la energía mecánica que realiza el movimiento debe ser constante independiente de la demanda de la potencia, no toda la potencia que entra al generador se convierte en energía eléctrica, la diferencia de estas representa las pérdidas mecánicas de la máquina en el núcleo.

$$P_{in} = T_{mec} W_{mec}$$

La potencia eléctrica línea a línea del generador es:

$$P_{out} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

1.3.6.4. Regulación de velocidad

Para el funcionamiento del generador es importante que la velocidad de la fuerza motriz sea constante independiente de la demanda de potencia, si esto falla puede presentar fallas en todo el sistema, no toda la potencia mecánica se convierte en energía eléctrica, la diferencias de esta representan las pérdidas de la máquina, se desea mantenerla lo más posible a una valor fijo, y cuando sufra variaciones regrese lo más posible a este valor, los elementos para regular la velocidad son: el sensor, el dispositivo de potencia y un elemento de control.

La clasificación de los reguladores es:

- Mecánicos - hidráulicos
- Regulador electrónico
- Regulador digital

1.3.6.4.1. Mecánico-Hidráulico.

No son adecuados para controlar la velocidad debido a que se necesita un medio adicional de estabilización.

1.3.6.4.2. Regulador electrónico

Utiliza la potencia real del generador como retroalimentación del elemento de control obteniendo así una relación lineal entre el ajuste de velocidad y carga, teniendo así una mayor exactitud en la generación.

1.3.6.4.3. Regulador digital

Este tipo de regulación es de última generación el cual, incluye muchas funciones adicionales son de gran versatilidad y controlan velocidad, potencia y cualquier otro medio por medio de un sensor.

1.3.6.5. Curva de capacidad del generador

La curva de capacidad del generador surge con el uso de instrumentos para la medición de la potencia activa, potencia reactiva, el voltaje en bornes del generador, la corriente de armadura.

Los generadores operan normalmente entre el factor de potencia nominal sobreexcitados y un factor de potencia unitario. En este rango el generador puede controlarse por el voltaje y la corriente de línea hasta el límite térmico de los devanados del estator.

Los generadores convencionales operan normalmente a carga nominal dentro de más o menos el 5% del voltaje nominal a temperatura segura.

La zona de sobreexcitación está en la región entre las líneas de factor de potencia unitario y nominal, esto se debe por el aumento de temperatura de los devanados del estator. La porción sobreexcitada esta entre las líneas de factor de potencia nominal y factor de potencia cero, se determina por el aumento de temperatura de los devanados de campo.

La zona de subexcitación de la curva está limitada por los siguientes cuatro factores:

1. Temperatura de los arrollamientos del estator

2. Sobrecalentamiento de los extremos del núcleo del estator
3. Condiciones mínimas de excitación
4. Límite de estabilidad del sistema.

Se logra una mayor capacidad del generador si se logra bajar la temperatura de refrigeración.

1.4. Tipos de falla de un generador

Los problemas que ocurren dentro de un generador pueden ser de dos tipos:

- Origen mecánico
- Origen eléctrico.

Los problemas de origen mecánico están relacionados con fallas, desgaste o mal funcionamiento de los elementos y estructuras físicas que componen el generador.

Los principales problemas mecánicos son los siguientes:

- Lubricación de aceite
- Vibración
- Problemas de cojinetes
- Sistema de enfriamiento
- Alta temperatura en los devanados (falla parcial en el aislamiento)

Todos estos puntos son monitoreados continuamente por equipos adecuados de medición, cuando hay situaciones anormales se realiza el aviso de modo sonoro o luminosos o ambos.

Por su parte las fallas eléctricas afectan directamente al sistema de potencia y deben ser despejadas rápidamente para no atentar contra la vida útil de los equipos. A continuación se detalla los problemas relacionados de este tipo.

La mayoría de las fallas eléctricas en los generadores son causadas por los aislamientos en los devanados, causando cortocircuitos entre fases o fase-tierra, causando un arco eléctrico que se desarrolla instantáneamente produciendo daños considerables en los devanados y laminados del estator incluso en el área donde ocurrió el cortocircuito.

1.4.1. Fallas del Estator del Generador

En los cortocircuitos fase-tierra, el hierro del estator se compromete debido a que independientemente de la conexión del neutro del generador a tierra, la carcasa está conectada externamente a tierra, permitiendo la circulación de la corriente de cortocircuito.

El cortocircuito entre espiras de una misma fase puede producir un desbalance entre las corrientes de armadura del estator ya que la relación entre las espiras cambia, pero el problema más grande es que se puede convertir fácilmente en un cortocircuito fase tierra, comprometiendo seriamente el núcleo del estator. Por esta razón las fallas de este tipo, deben ser detectadas y el generador debe ser aislado inmediatamente del sistema. Este cortocircuito no ocurre en generadores que poseen una vuelta por fase por cada ranura.

Las láminas del estator también se ven afectadas, el daño está directamente conectado con la intensidad de la corriente de cortocircuito y el tiempo que dure este. El valor de la corriente de cortocircuito en la falla “fase tierra” depende del tipo de conexión del neutro del generador. Si el generador se encuentra sólidamente conectado a tierra, la intensidad de corriente será máxima, y será mínima si el neutro se encuentra conectado a tierra a través de una alta impedancia.

Los fabricantes de los generadores aseguran que éstos pueden soportar esfuerzos mecánicos y térmicos debidos a un cortocircuito fase-tierra que se produzca en sus bornes, siempre y cuando el valor de la corriente no supere al de un cortocircuito trifásico.

Para asegurar que se cumpla esta condición, se utilizan resistencias o reactancias conectadas al neutro para limitar la corriente de falla a tierra.

1.4.2. Fallas en el Rotor del Generador

La falla común que se presenta en el rotor es la es causada por la tierra del devanado de campo, inicialmente no es muy grave, debido a que los niveles de voltaje que maneja éste devanado son relativamente pequeños comparados con los voltajes en el estator, además no se encuentra conectado en ningún punto a tierra por lo que no existe un camino de retorno para la corriente de falla desde tierra hacia el devanado.

Debido a que no representa una falla significativa no es una causa para la desconexión inmediata de la unidad, sino que requiere de una puesta fuera de servicio para la inspección del generador tan pronto como sea posible, con el fin de evitar daños que podrían suceder si una segunda falla a tierra se produce.

Si se producen dos cortocircuitos a tierra en el rotor, puede producir una sobre corriente en la sección del devanado libre de falla, mientras que por las espiras de la sección fallada prácticamente no circulará corriente, esto hace que el flujo magnético que se genera en el rotor no sea uniforme ocasionando un desequilibrio en las fuerzas magnéticas producto de los fenómenos magneto-dinámicos que ocurren en las máquinas rotativas.

Si el desequilibrio es demasiado grande, se puede producir una torcedura del eje del rotor y hacerlo excéntrico, generando vibraciones debido a la rotación fuera de su eje; la excentricidad del rotor podría ser tan grande que incluso podría desencadenar en un tope entre el rotor y el estator originando daños mecánicos muy serios y costosos, que requerirán la puesta fuera de servicio de la unidad.

Otro problema importante es la falla parcial o pérdida total de la excitación esto puede ocasionar un serio problema en el sistema de potencia porque afecta al suministro de potencia reactiva al sistema a través de los bobinados del estator lo que produce que el generador gire a una mayor velocidad a la sincrónica.

El problema es que el generador absorbe más potencia reactiva aun cuando éste necesita el doble o triple de la potencia nominal, por lo tanto incrementa la corriente de armadura y sobrecalienta los devanados del estator, si el generador se mantiene así se generará problemas de inestabilidad.

La potencia reactiva absorbida puede ser tal que la potencia aparente puede resultar el doble o incluso el triple de la potencia nominal de la máquina. Esto hace que la corriente de armadura crezca también y sobrecaliente los devanados del estator.

El tiempo para alcanzar un sobrecalentamiento peligroso puede ser tan corto como 2 o 3 minutos. Si el generador no es desconectado, puede producirse problemas de inestabilidad. Si el generador se encontraba entregando potencia reactiva en el momento que se pierde la excitación, ocurrirá un cambio repentino de la dirección del flujo de dicha potencia, esto hace que el voltaje a los terminales del generador se reduzca drásticamente por lo que cualquier carga conectada directamente al sistema de generación puede verse afectada si no hay otros generadores que puedan suplir la ausencia de reactivos inmediatamente [13].

1.4.3. Problemas en el generador debido a fallas en el sistema de potencia

Debido a fallas en el sistema existe una serie de problemas dentro del generador, las cuales son:

- **Sobrevoltaje.** El sobrevoltaje se produce por la sobrevelocidad lo cual afecta al aislamiento, pero todo sobrevoltaje asociado con una sobrevelocidad, puede ser controlado por el regulador automático de voltaje.
- **Baja frecuencia.** La frecuencia baja puede dañar las aletas de las turbinas debido a la vibración.
- **Funcionamiento del generador como motor,** esto se produce por la pérdida de la fuerza motriz del generador de fuerza motriz.
- **Cerrado de un disyuntor del generador con el generador fuera de fase del sistema.** Esto provoca daño mecánicos en los devanados del generador y también afecta a la turbina.
- **Corriente excesiva en el estator.** Produce un serio calentamiento en los devanados del estator. Este calentamiento también puede ser producido por desperfectos en el sistema de refrigeración, o cortocircuito en láminas del estator.
- **Corrientes desbalanceadas en el estator del generador.** Debido a un desbalance serio del sistema se inducen corrientes de secuencia negativa lo que ocasiona calentamiento en el rotor del generador.

- Pérdida de sincronismo, si la unidad falla y se desfasa del sistema.
- Cerrado de un disyuntor del generador con el generador fuera de fase del sistema.
Esto provoca daños mecánicos en los devanados del generador y también se ve afectada la turbina.

CAPITULO II

APLICACIONES ELECTRONICAS UTILIZADOS EN GENERADORES ELECTRICOS EN MONITOREO Y CONTROL

2.1. Aplicaciones y monitoreo utilizados en sistemas eléctricos

Un sistema eléctrico es el recorrido de la electricidad a través de un conductor, desde la fuente de energía hasta su lugar de consumo. Todo circuito eléctrico requiere, para su funcionamiento, de una fuente de energía, en este caso, de una corriente eléctrica.

El control remoto de los sistemas eléctricos comenzó en la década de los años 60, y durante la de los 70 el reemplazo de los dispositivos electromecánicos por equipos de estado sólido estaba bien avanzado. Aún hoy, quedan subestaciones que todavía no se han integrado totalmente a la tecnología de los dispositivos electrónicos, en parte debido a que la interoperabilidad entre los dispositivos está obstaculizada por el exceso de protocolos e interfaces incompatibles.

La protección de sistemas eléctricos se encuentra fundamentada por principios de ingeniería se deben calcular las corrientes de falla, determinar las características nominales que son requeridas para la protección de los equipos y luego se determina si que sistemas de protección zona adecuados.

Ahora bien, “obstaculizada” no significa “imposibilitada” gracias a las virtudes, y a pesar de las limitaciones, de la más nueva y variada tecnología de automatización. La lista de equipos relacionados con dichas tecnologías incluye a los Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IED), a las plataformas computacionales, a los sistemas operativos, a las redes de comunicación y a las interfaces gráficas de usuario. Lo que sigue es un análisis de cómo integrar dichas tecnologías diversas en un único sistema de control para redes eléctricas, mientras se superan las dificultades para la implantación.

Se consideran además las reglas para especificar las zonas de protección, ubicación de los equipos de protección y los tipos de equipos de protección de acuerdo a su ubicación. Otras consideraciones que son características de cada sistema de potencia tales como la localización y naturaleza de las cargas y las condiciones ambientales del circuito a proteger deben ser tenidas en cuenta en el diseño de sistemas de protección.

2.2. Causas de las fallas

- Sobrevoltajes debido a las descargas atmosféricas.
- Sobrevoltajes debido al switcheo
- Rotura de conductores, aisladores y estructuras debido a fuertes vientos, sismos, árboles, automóviles, equipos de excavación, vandalismo, etc.
- Daño de aislamientos causado por roedores, aves, serpientes, etc.
- Incendios.
- Fallas de equipos y errores de cableado.
- Problemas de Operario: Ocurren debido al uso incorrecto por parte de la persona que utiliza el equipo. Uno de los motivos es la falta de conocimiento adecuado del funcionamiento del equipo, que en ocasiones lleva a suponer que opera incorrectamente., cuando en realidad no existen problemas de funcionamiento como tal. Tales situaciones son de ocurrencia frecuente y deben ser una de las primeras instancia que se verifiquen.
- Fallas en el suministro de potencia: Es una de las fallas más frecuentes, proviene de la fuente de potencia. En esta parte se manejan corrientes y voltaje apreciables, además de temperaturas elevadas, los componentes de la fuente están sujetos a esfuerzos eléctricos y térmicos que pueden conducir a fallas en sus componentes. Cuando la fuente de potencia esta averiada, el equipo deja de operar por completo.
- Falla de componentes del circuito
- Problemas de temporización: Es uno de los problemas más difícil de diagnosticar se relaciona con la correcta temporización de los circuitos. Parámetros como la frecuencia del reloj, los retrasos de propagación y otras características relacionadas, son de mucha importancia para la adecuada operación de los equipos digitales.
- Problemas debidos a Ruidos: El ruido eléctrico es una fuente potencial importante de problemas en los circuitos digitales. Las señales de ruido pueden provenir de transitorios en las líneas de corriente alterna o de campo magnético o eléctrico originados en equipos aledaños.

2.2.1. Clases de fallas.

2.2.1.1. Fallas temporales:

Son las fallas que pueden ser despejadas antes de que ocurran serios daños, se auto despejan y/o por la operación de dispositivos que operan lo suficientemente rápido para prevenir los daños por ejemplo la mayoría de las fallas en líneas de transmisión son temporales sin embargo pueden convertirse en permanentes si no se despejan rápidamente de alguna forma.

2.2.1.2. Fallas permanentes:

Son aquellas fallas que persisten a pesar que la velocidad a la cual el circuito es desenergizado o el número de veces que el circuito es desenergizado se desconectó el circuito como por ejemplo cuando dos o más conductores desnudos en un sistema aéreo entran en contacto debido a rotura de conductores, crucetas o postes; los arcos entre fases pueden originar fallas permanentes también, ramas de árboles sobre la línea.

Cuando existen sistemas subterráneos la mayoría de las fallas son de naturaleza permanente ya que existen algún tipo de desconexión, a pesar de la velocidad de desenergización, no regenerará la fortaleza del aislamiento del equipo fallado como son el cable, equipo de interrupción, transformadores, entre otros, al nivel al cual resista la reaplicación del voltaje normal de 60 Hz.

Debido a que existen en varios casos los sobrevoltajes el aislamiento del cable falla y también las roturas mecánicas, las cuales son claros ejemplos de fallas permanentes en sistemas subterráneos.

2.2.2. Funciones de un sistema de protección.

Para que un sistema de protección pueda realizar sus funciones en forma satisfactoria debe cumplir con las siguientes características:

- Sensibilidad: Detectar pequeñas variaciones en el entorno del punto de equilibrio, de ajuste, o de referencia, con mínima zona muerta o de indefinición.

- Selectividad: Detectar un determinado tipo de anomalía en un determinado componente o equipo del sistema de potencia y no operar ante otro tipo de anomalía o ante anomalías en otros equipos.
- Rapidez: Limitar la duración de las anomalías, minimizando los retardos no deseados. Confiabilidad: Probabilidad de cumplir la función encargada sin fallar, durante un período de tiempo.
- Dependability: Probabilidad de que la protección opere correctamente, o sea que opere cuando corresponde que lo haga.
- Security: Probabilidad de que la protección no opere incorrectamente, habiendo o no falta o condición anormal en el sistema eléctrico de potencia, o sea que no opere cuando no corresponde que lo haga.
 - Aislar las fallas permanentes.
 - Minimizar el número de salidas y de fallas permanentes.
 - Minimizar el tiempo de localización de las fallas.
 - Prevenir daños a los equipos.
 - Minimizar la probabilidad de rotura de conductores.
 - Minimizar la probabilidad de falla disruptiva.
 - Minimizar los riesgos.

Cuando se calculan las corrientes de falla la protección de sistemas eléctricos es considerada como un arte y una ciencia, bien fundamentada por principios científicos y de ingeniería que son perseguidos, se determinan características nominales requeridas para los equipos y luego se determina si los sistemas de protección se regulan adecuadamente.

Además de considerar otras técnicas que no están muy bien definidas como las reglas para especificar las zonas de protección, ubicación de los equipos de protección y tipos de equipos de protección de acuerdo a su ubicación.

Otras consideraciones que son características de cada sistema de potencia tales como la localización y naturaleza de las cargas y las condiciones ambientales del circuito a proteger deben ser tenidas en cuenta en el diseño de sistemas de protección.

2.2.3. Tiempo de eliminación de fallas

Cuando existen los tiempos de eliminación de las fallas varían de acuerdo con la tecnología que se pueda utilizar. Esto nos lleva a decir que el tiempo total de despeje debe ser menor a 100ms, cuando hay sistemas de teleprotección hay que agregar de 10 a 30 ms, los sistemas modernos emplean máximo 50 ms.

Cuando se diseña el sistema de protección de líneas se lo hace requiriendo una alta fiabilidad y el sistema de protección de barras es diseñado con alta seguridad, por lo tanto se puede definir que:

Alta Fiabilidad + Alta Seguridad = Confiabilidad

2.2.4. Protección primaria, protección de respaldo y protección direccional.

Todos los elementos del sistema de potencia deben estar correctamente protegidos de tal forma que los relés operen cuando ocurre la falla y dentro de su zona de protección a esto se lo llama “protección tipo unitaria”, en cambio alguno otros relés son capaces de detectar fallas dentro de una zona particular y en zonas adyacentes, y también se usan como respaldo de protección primaria como una segunda línea de defensa.

Es significativo que cualquier falla sea aislada lo más rápido posible, aún si la protección principal asociada no opera. Por lo tanto, en lo posible, cada elemento en el sistema de potencia debe estar protegido por los relés primarios y de respaldo.

2.2.4.1. Protección primaria.

El sistema de protección primaria opera cada vez que uno de sus elementos detecte una falla, este cubre una zona de protección conformada por uno o más elementos del sistema de potencia, tales como máquinas eléctricas, líneas y barras, es posible que para un elemento del sistema de potencia se tengan varios dispositivos de protección primaria, por lo tanto, esto quiere decir que no implica que dichos dispositivos no operarán todos ocurriendo para la misma falla.

Se debe observar que la protección primaria de un componente de un equipo del sistema puede no necesariamente estar instalado en el mismo punto de ubicación del equipo del sistema; en cualquiera que fuere el caso puede estar ubicado en una subestación adyacente.

2.2.4.2. Protección de respaldo.

La protección de respaldo se instala para operar cuando la protección primaria no actúa, esto sucede debido a que el relé de protección de respaldo tiene un elemento de detección que es similar o no al sistema de protección primaria con la diferencia que incluye un circuito de tiempo diferido que retarda la operación del relé permitiendo que la protección primaria opere primero, es muy común que un relevador actúe como protección primaria para un componente de equipo y como respaldo para otro.

2.2.4.3. Protección direccional.

La característica importante de algunos tipos de protección es su capacidad para determinar la dirección del flujo de potencia por ende tiene la capacidad para inhibir la apertura de los interruptores asociados cuando la corriente de falla fluye en la dirección opuesta al ajuste del relevador, estos son importantes donde existen varias fuentes de generación cuando las corrientes de falla circulan en ambas direcciones, la protección direccional previene la apertura innecesaria del equipo de interrupción y así mejora la seguridad del suministro de electricidad.

2.3. Funcionamiento del dispositivo electrónico utilizado en un generador eléctrico

En un generador eléctrico se constituye fundamentalmente por partes como:

- El inducido (bobinado)

El inducido es la parte de la máquina rotativa donde se produce la transformación de energía eléctrica en mecánica mediante inducción electromagnética.

En las máquinas de corriente continua el inducido es la parte giratoria, y está formado por un tambor construido de chapas apiladas de hierro al silicio de 0,5 mm de espesor con una serie de ranuras longitudinales en su periferia, en cuyo interior se alojan las

bobinas donde se induce la fuerza electromotriz cuando este gira dentro del campo magnético creado por el inductor.

Los extremos de las bobinas están conectados a unas láminas de cobre, llamadas delgas, dispuestas en la periferia de un cilindro aislante, llamado colector, que se encarga de conectar las bobinas con el circuito exterior de la máquina mediante unas escobillas de carbón estáticas que rozan sobre las delgas.

En los alternadores, el inducido es la parte fija de la máquina, y está formado por un cilindro hueco de chapas apiladas de acero al silicio con las ranuras en la parte interior, donde se alojan las bobinas. En estas se induce la fuerza electromotriz cuando el inductor gira en el interior del inducido. Las bobinas del inducido se conectan a unas bornes que están en el exterior de la carcasa de la máquina con el fin de conectarlas al circuito exterior al que entregan la corriente inducida.

- Las escobillas

Para realizar esta conexión, se fijan dos anillos en el eje de giro, generalmente de cobre, aislados de la electricidad del eje y conectados a los terminales de la bobina rotatoria. Enfrente de los anillos se disponen unos bloques de carbón, que mediante unos resortes, hacen presión sobre ellos para establecer el contacto eléctrico necesario. Estos bloques de carbón se denominan escobillas y los anillos rotatorios reciben el nombre de colector.

En determinado tipo de máquinas electromagnéticas, como los motores o generadores de corriente continua, los anillos del colector están divididos en dos o más partes, aisladas unas de otras y conectadas a una o más bobinas. En este caso, cada una de las partes en que está dividido el colector se denomina delga.

Debido a que, por el roce que se ocasiona al girar el dispositivo se produce un desgaste por abrasión, las escobillas deben ser sustituidas periódicamente. Por este motivo se han inventado los motores eléctricos sin escobillas.

2.4. Protecciones eléctricas para generadores eléctricos

Para comenzar a comprender este capítulo sobre protecciones eléctricas primero se debe entender la ocurrencia de condiciones anormales en los sistemas de potencia. El

sistema eléctrico se encuentra en estado normal cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- La potencia generada es igual a la carga más las pérdidas.
- La frecuencia se encuentra en un valor cercano a la nominal, por ejemplo $60 \pm 0,3$ Hz.
- Las tensiones en todas las barra se encuentran cercanas a la nominal, por ejemplo, $V_n \pm 10\%$.
- Todos los equipos se encuentran operando dentro de sus condiciones nominales, ningún equipo se encuentra sobrecargado.

Las cargas normalmente presentan variaciones con el tiempo, sin embargo, el sistema con la regulación de frecuencia corrige la generación para adaptarla a los cambios de la carga, además, también se tienen las variaciones de tensión que son corregidas por los sistemas de regulación de tensión y de compensación de reactivos.

El estado normal se pierde ante perturbaciones originadas por alguno de los siguientes factores:

- Falla eléctrica de alguno de los equipos del sistema: generadores, transformadores, líneas, cables, compensaciones, etc.
- Salida abrupta de funcionamiento de alguno de los equipos, por ejemplo, debido a una sobrecarga, a una falla o a un error humano en la operación.
- Funcionamiento anormal de alguno de los equipos, por ejemplo, sobre velocidad de un generador.

Las protecciones eléctricas cobran importancia por la ocurrencia de estas condiciones anormales, las cuales deben ser detectadas para tomar las acciones necesarias que eviten que las consecuencias de éstas sean mayores.

Existen específicamente condiciones anormales que ocurren en sistemas eléctricos como las siguientes:

- Cortocircuitos o fallas en el aislamiento
- Sobrecarga de equipos y circuitos
- Fases abiertas en circuitos
- Desbalances de tensión y corriente
- Bajas tensiones
- Sobre tensiones
- Desviaciones de frecuencia
- Pérdidas de sincronismo de generadores y sistemas
- Pérdida de excitación de generadores y motores sincrónicos
- Oscilaciones de potencia

Estas condiciones anormales pueden generar consecuencias tales como:

- Daños para las personas: electrocución, quemaduras, daños generados por explosión, etc.
- Daños para el medio ambiente: muerte de animales, incendios, destrucción.
- Daños de equipos: destrucción debido al calor y la explosión, daño eléctrico por altas tensiones, daños por esfuerzos mecánicos, etc.
- Daños en las edificaciones: destrucción por explosión y altas temperaturas
- Pérdidas de continuidad en los procesos: interrupción de procesos por pérdida del suministro eléctrico, colapsos del sistema de potencia por pérdida de estabilidad, salida de generadores por pérdida de sincronismo, etc.

Para dimensionar la importancia de las protecciones es fundamental el conocimiento de la naturaleza de los riesgos eléctricos que representan las fallas. Normalmente tendemos a asociar el riesgo eléctrico solo con el fenómeno del paso de la corriente a través del cuerpo o choque eléctrico, sin embargo, existen otros riesgos como el arco

eléctrico y la explosión que son igualmente peligrosos para las personas, y por lo tanto, deben ser comprendidos.

Protección adicional debe de ser suministrada a equipos altamente sensibles y esenciales:

Tabla N° 2: Guía de aplicación

Nivel de Exposición	Capacidad de supresión	Ambiente	Equipos SURGELOGIC
Alto	480kA y 320kA	Acometidas de gran potencia. Zonas de alto poder isocerámico. Vecinos de zonas industriales Industria en ambientes rurales	EMA QD Logic I-Line
Alto a Medio	240kA y 160kA	Zonas de bajo nivel isocerámico. Acometida a tableros panel y auto soportados. Compañías de tamaño mediano	EMA, EBA, I-Line NQOD / NF / CCM Electroducto QD Logic
Medio	160kA	Tableros subgenerales Alimentadores sin protección en la acometida. Cargas de potencia en la red	QD Logic / EMA, HWA, I-Line NQOD / NF / CCM Electroducto
Medio a Bajo	160kA y 120kA	Cuartos de computo y procesamiento Circuitos derivados sin protección aguas arriba. Equipos robotizados y de control numérico.	QD Logic / EMA, EBA, I-Line NQOD / NF / CCM Electroducto
Bajo	20kA a 40kA	Circuitos derivados para cargas finales. Cargas finales muy sensibles. Uso Residencial, Casa Habitación	EBA, HWA, LC SDSA, QO SDSB1175C

2.4.1. Protección de generador con neutro desconectado de tierra

Es método de protección que generalmente se aplica el generador se conecta sin protección en el lado de alto voltaje debido a que el enrollado de bajo voltaje del transformador está conectado en Delta, por este tipo de conexión los cortocircuitos de una fase a tierra en lado del generador no se ven afectados.

Otro método consiste en la medición del desplazamiento que experimenta el neutro con respecto a tierra. El esquema usual es medir el voltaje de desplazamiento por medio de la conexión entre neutro y tierra de un transformador potencial e instalar en el secundario un relé de tensión.

2.4.2. Protección de generador con neutro conectado a tierra a través de una resistencia o reactancia

Los fabricantes aconsejan conectar el neutro del generador a tierra mediante una resistencia o una reactancia, con el propósito de limitar la corriente de cortocircuito de la fase a tierra a un valor similar al de la corriente para un circuito trifásico.

En la práctica, se intenta limitar el valor de la corriente de cortocircuito de fase a tierra a sólo un porcentaje de la del trifásico, debido a que de tener lugar el cortocircuito en el interior del generador los daños se reducen.

Es conveniente adicionar un relé de sobrecorriente residual con un ajuste de tiempo largo que respalde a la diferencial para casos de cortocircuitos muy próximos al neutro y particularmente en los momentos en que el generador aún no se encuentre conectado al Sistema.

2.4.3. Protección del generador con neutro conectado a tierra a través de un transformador de distribución

En las centrales de generación los equipos están dispuestos en bloque se conecta el neutro del generador a tierra mediante el enrollado de alto voltaje de un transformador monofásico de distribución además una resistencia y un relé de sobretensión se conectan al enrollado de baja tensión del transformador esto ayuda regular la intensidad de la corriente que circulará en el punto del cortocircuito y como consecuencia, el daño en el núcleo.

2.4.4. Contra sobrecalentamiento del estator

Las principales causas del sobrecalentamiento del estator de un generador radican en:

- Desperfecto en el sistema de refrigeración
- Sobrecarga
- Cortocircuito de varias láminas del estator

Es común la protección contra sobrecalentamientos del estator mediante relés térmicos diseñados de manera que reproduzcan las condiciones de calentamiento que originan las corrientes estatóricas y que al llegar a una cierta temperatura de ajuste

cierra sus contactos. Esta protección cuenta con la desventaja de solamente operar para sobrecalentamientos originados por una sobrecarga y no protege contra los sobrecalentamientos producidos por desperfectos en el sistema de refrigeración o por cortocircuitos de las láminas del estator.

Actualmente se protege contra sobrecalentamiento del estator a través de detectores de temperatura embebidos en varios puntos del enrollado los cuales transmiten continuamente la información a un instrumento, el cual al alcanzar en algún punto una temperatura crítica envía la orden de apertura. Mediante este sistema de protección, pueden detectarse calentamientos muy localizados, tales como los que se producen por cortocircuito de las láminas.

2.4.5. Contra sobretensiones

La sobrevelocidad se origina por pérdidas de carga o desperfectos en el regulador de voltaje produciendo sobretensiones.

Toda sobretensión asociada con una sobrevelocidad será controlada por el regulador automático de voltaje sin embargo en las unidades hidráulicas, el flujo de agua no puede ser interrumpido o deflectado tan rápidamente y puede originarse una sobrevelocidad. En el caso de que la excitatriz se encuentre acoplada directamente a la máquina, el voltaje tiende a crecer casi con el cuadrado de la velocidad.

Se emplean relés de sobretensión de dos elementos: un elemento instantáneo que trabaja con 25% de sobretensión (gas) y 40% (hidráulica) y otro elemento que opera con 10% de sobretensión. La operación del relé de sobretensión da orden de apertura al interruptor del generador y al del campo.

2.4.6. Método potenciométrico para campo

Este sistema abarca una resistencia con una derivación central, la que se conecta en paralelo con el enrollado principal del campo. La derivación central de la resistencia se conecta a tierra mediante un relé de sobretensión.

Este sistema tiene la desventaja que existe una zona de insensibilidad para cortocircuitos en el centro del enrollado de campo. Para detectar un cortocircuito en esta posición, se desplaza la derivación central mediante un interruptor.

La principal ventaja de este sistema es su simplicidad y el hecho que no necesite una fuente auxiliar.

2.4.7. Método de inyección de corriente alterna

Este sistema tiene un transformador el primario conectado a tierra y el otro extremo se conecta un relé de sobretensión y un condensador en serie a uno de los extremos del enrollado principal de campo.

Al tener lugar un cortocircuito a tierra el circuito del relé se completa, siendo la corriente a través del relé independiente del voltaje de excitatriz y solamente una función de la resistencia en el punto del cortocircuito, la desventaja es que siempre existe una corriente de fuga pequeña por la capacidad que existe entre el enrollado de campo y la masa del rotor y que puede traer consecuencias perjudiciales cuando el generador descansa[14].

2.4.8. Contra sobrecalentamientos del rotor

Los cortocircuitos asimétricos internos en el estator son despejados por los sistemas de protección, en cambio, los cortocircuitos asimétricos externos pueden permanecer indetectados o continuar por un período significativo dependiendo de la coordinación de las protecciones del sistema.

Es usual instalar una protección en base a un relé de sobrecorriente de secuencia negativa generalmente, esta protección desconecta el generador del servicio. Además, suele incluirse un elemento instantáneo que sólo da alarma.

2.4.9. Protección de respaldo-fallas externas al generador

Es importante instalar en los generadores protecciones de respaldo que impidan entregar corrientes de cortocircuito al sistema eléctrico externo por alguna no operación de las protecciones principales.

Si se trata de cortocircuitos de una fase a tierra el relé de sobrecorriente inverso es satisfactorio. En el caso de cortocircuitos entre fases puede utilizarse un relé de sobrecorriente con control de tensión. La elección entre estos dos tipos depende del tipo de relé con el que la protección de respaldo debe coordinarse.

No se recomienda emplear relés de sobrecorriente simples, debido a que la curva de decremento de la corriente suministrada por el generador cae bruscamente a valores menores a su corriente nominal antes que el relé de sobrecorriente haya terminado su operación.

2.4.10. Protección contra motoreo

Algún desperfecto en la en la máquina motriz puede convertir al generador en motor absorbiendo energía del sistema la protección se realiza en esta o en el sistema eléctrico y no en el generador.

2.4.11. Protección contra fallas en los arrollamientos del estator (Diferencial del generador)

El relé diferencial de alta velocidad es usado generalmente para protección de fallas de fase de los devanados del estator, a menos que la máquina sea muy pequeña.

El relé diferencial detecta fallas trifásicas, fallas bifásicas, fallas bifásicas a tierra y fallas monofásicas a tierra, éstas últimas dependiendo de qué tan sólidamente esté aterrizado el generador.

El relé diferencial no detecta fallas entre espiras en una fase porque no hay una diferencia entre la entrada y la salida de corriente de la fase, por lo cual se debe utilizar una protección separada para fallas entre espiras.

Relé diferencial porcentual Este relé es el más común para protección diferencial de generadores. En estos relés las características porcentuales de corriente pueden variar del 5% al 50% o más. Esta característica es muy sensible a fallas internas e insensibles a corrientes erróneas durante fallas externas.

Se utilizan transformadores de corriente con características idénticas y es preferible no conectar otros relés u otros aparatos en estos circuitos de corriente. Cuando se tienen

generadores de fase partida (tendencia americana de usar dos arrollamientos en paralelo por fase) se acostumbra medir la corriente únicamente en uno de los devanados en paralelo en el lado del neutro, utilizando un CT con una relación de transformación igual a la mitad; la ventaja de este esquema es que permite detectar polos de la excitación en corto de una manera indirecta, debido al desbalance de corriente entre los devanados partidos, al estar sometidos a flujos magnéticos diferentes[15].

Los relés diferenciales porcentuales no son sensibles para fallas a tierra en la totalidad del arrollamiento en generadores puestos a tierra sólidamente, ni opera en absoluto para generadores puestos a tierra a través de impedancia. Aproximadamente el primer 10% del arrollamiento no está protegido con este relé, sin embargo, este 10% se cubre con la protección de falla entre espiras.

La conexión de la protección diferencial depende de si el neutro está conectado internamente o si se dispone de los tres terminales del neutro (cada fase) para colocar transformadores de corriente a lado y lado de los arrollamientos.

Cuando el generador se conecta directamente al transformador elevador sin interruptor de por medio (conexión en bloque), esta conexión se protege con dos relés diferenciales porcentuales: uno para el generador y otro para el grupo generador-transformador.

2.4.12. Protección contra fallas entre espiras

Dado que la protección diferencial no actúa para fallas entre espiras de una misma fase y que no hay una diferencia de corriente en los extremos de un arrollamiento con espiras en corto, debe instalarse una protección de falla entre espiras que cubra este tipo de fallas [16]. Esta protección es propia de los generadores de turbinas hidráulicas, dado que las bobinas de los grandes generadores de turbinas a vapor, por lo general sólo tienen una espira.

Si el devanado del estator del generador tiene bobinas multiespiras y dos o más circuitos por fase, el esquema de relé de fase partida puede ser usado para dar protección de fase partida. En este esquema, el circuito en cada fase del devanado del estator está partido en dos grupos iguales, comparándose entonces las corrientes de

cada grupo. Una diferencia en estas corrientes indica un desbalance causado por una falla de espiras.

El relé usado en este esquema usualmente consiste en un relé de sobrecorriente instantáneo y un relé de sobrecorriente de tiempo inverso.

Cuando hay un valor de sobrecorriente normal entre devanados, el relé de sobrecorriente temporizado no responde hasta que el valor llegue al umbral de arranque de la corriente de desbalance debido a una falla entre espiras. El retardo es empleado para prevenir operación por una corriente transitoria del CT generada por fallas externas.

El valor de arranque de la unidad instantánea debe ser fijado por encima de las corrientes transitorias del CT que pueden ocurrir por fallas externas. El ajuste resultante ofrece una protección parcial para fallas entre espiras. Sin embargo, es un respaldo económico para fallas que involucren espiras múltiples y fallas de fase.

2.4.13. Protección contra fallas a tierra del estator

En una puesta a tierra de resistencia baja, dicha resistencia es seleccionada para limitar la contribución del generador a fallas a tierra monofásicas en sus terminales a un rango de corriente entre 200 A y 150 % de la corriente total de carga. Con este rango de corrientes de falla disponibles, el relé diferencial alcanza a dar protección de fallas a tierra [17]. Sin embargo, como la protección diferencial no brinda protección de falla a tierra para todo el devanado de fase del estator, es una práctica común utilizar, como complemento, una protección sensible para fallas a tierra.; esta protección puede se puede implementar con un relé direccional de corriente polarizado o con un relé de sobrecorriente temporizado.

Cuando se usa un relé de sobrecorriente direccional, la bobina de polarización es energizada desde un transformador de corriente en el neutro del generador mientras que la bobina de operación está en el esquema de la protección diferencial del relé.

Esta aplicación da sensibilidad sin un “Burden” alto de operación de la bobina. Cuando se usa un relé de sobrecorriente, se conecta un relé sensible de sobrecorriente temporizado en el neutro del esquema diferencial.

En ambos casos, la protección de sobrecorriente a tierra solo detecta fallas cubiertas por la zona diferencial, de allí que se elimina la necesidad de coordinar el tiempo del relé con otros relés del sistema.

En la práctica es común adicionar un relé de sobrecorriente temporizado sensible a tierra en el neutro del generador. Este relé da respaldo a fallas a tierra del generador y a fallas externas.

2.4.14. Protección contra fallas a tierra en el rotor

Normalmente el sistema de corriente continua que alimenta el rotor está aislado de tierra lo cual implica que una primera falla a tierra no origina ningún efecto dañino, sin embargo, ésta debe ser detectada y aislada dado que una segunda falla podría cortocircuitar una parte del campo, produciendo vibraciones muy perjudiciales para el generador por los desequilibrios que se presentan en el flujo del entrehierro.

Existen dos formas de proteger el rotor contra este tipo de fallas:

- Inyección de una señal de corriente alterna por medio de un circuito adicional puesto a tierra por un extremo, de tal modo que la corriente sólo podría circular por este circuito cuando ocurra una falla a tierra, y ésta a su vez, activaría el relé de protección. Esta protección no se recomienda en generadores grandes dado que la capacitancia a tierra del rotor puede hacer circular continuamente corriente C.A. por las chumaceras, contribuyendo al deterioro de éstas.
- Divisor de tensión formado por dos resistencias lineales y una no lineal, cuyo valor resistivo varía con la tensión aplicada. La desventaja de este método es que queda un punto ciego paralelo al punto central del divisor resistivo. Algunos fabricantes no utilizan la resistencia no lineal, sino un pulsador manual que cortocircuita parte de una de las resistencias y para detectar fallas en el punto ciego es necesario presionar el pulsador periódicamente.

2.4.15. Protección contra la pérdida de excitación

Cuando un generador sincrónico pierde la excitación, funciona como un generador de inducción que gira por encima de la velocidad sincrónica.

Cuando el generador pierde la excitación, extrae potencia reactiva del sistema, aumentando de dos (2) a cuatro (4) veces la carga nominal del generador. En consecuencia, la gran carga reactiva demandada al sistema en estas circunstancias, puede causar una reducción general de la tensión, que a su vez puede originar inestabilidad, a menos que otros generadores puedan absorber de inmediato la carga reactiva adicional demandada [18].

La excitación se puede perder por alguna de las siguientes causas:

- Circuito abierto del campo
- Apertura del interruptor del campo
- Cortocircuito en el campo
- Mal contacto de las escobillas
- Daño en el regulador de tensión
- Falla en el cierre del interruptor de campo
- Pérdida de la fuente de alimentación de CA (Excitación estática)

La pérdida de excitación se puede detectar de varias maneras:

- Detección de Mínima Corriente: Consiste en ubicar un relé de baja corriente en el campo o algún relé de tipo direccional. Cuando el relé detecta poca o mínima corriente, conecta una resistencia de descarga en paralelo con el devanado del rotor y apenas se descarga el devanado, abre el interruptor de campo.
- Relé de Impedancia: Este es el método más utilizado para proteger el generador contra pérdida de excitación. Se utiliza un relé de impedancia capacitiva (relé de distancia del tipo Mho off set) para detectar el cambio del punto de trabajo de la máquina. A este relé se le ajustan básicamente dos valores: a y b, los cuales se definen como:

$$a = \frac{X_d'}{2}$$

$$b = X_d$$

Dónde:

X_d' : Reactancia Transitoria de eje directo

X_d : Reactancia Sincrónica de eje directo

2.4.16. Relé de balance tensión

Este relé es utilizado para detectar los cambios de potencial en los relés o en el regulador de tensión, producidos por quema de los fusibles o la apertura de los mini-interruptores de los secundarios de los transformadores de tensión. El relé compara las tensiones trifásicas de dos grupos de transformadores de tensión.

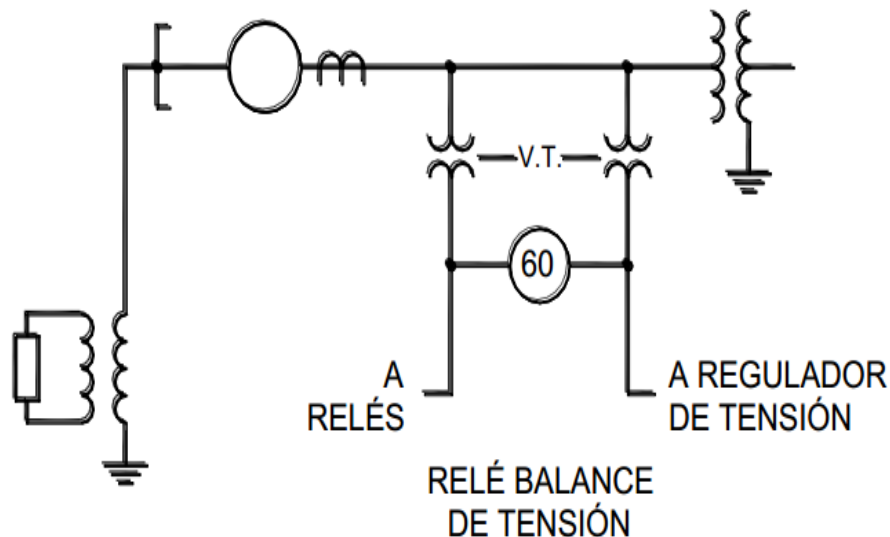


Figura N° 16: Aplicación de relé de balance de tensión
Fuente: [8]

Si una de las fases se abre en uno de los transformadores de tensión, el desbalance puede hacer que opere el relé. El relé es usualmente conectado de tal forma que aísla el regulador de tensión y bloquee posibles disparos incorrectos de los relés de protección debidos a los cambios de tensión.

2.4.17. Relé de sobre-excitación

El generador debe operar satisfactoriamente con los kVA, la frecuencia y el factor de potencia nominales a una tensión un 5% por encima o por debajo de la tensión nominal.

Las desviaciones en frecuencia, factor de potencia o tensión por fuera de estos límites, puede causar esfuerzos térmicos a menos que el generador esté específicamente diseñado para estas condiciones. La sobreexcitación puede provocar estas desviaciones por lo cual los esquemas tienen vigilancia y protección por esto.

La sobreexcitación de un generador o un transformador conectado a sus terminales ocurre cuando la relación entre la tensión y la frecuencia (volts /Hz) aplicada a los terminales del equipo excede el 1,05 p.u. (base generador) para un generador; y el 1,05 p.u. (base transformador) a plena carga o 1,1 p.u. sin carga en los terminales de alta del transformador. Cuando estas relaciones volts/Hz son excedidas, puede ocurrir saturación magnética del núcleo del generador o de los transformadores conectados y se pueden inducir flujos dispersos en componentes no laminados los cuales no están diseñados para soportarlos [19]. La corriente de campo en el generador también puede aumentar. Esto puede causar sobrecalentamiento en el generador o el transformador y el eventual rompimiento del aislamiento.

Una de las causas principales de excesivo volts/Hz en generadores y transformadores es la operación del regulador de velocidad, el cual reduce la frecuencia generada durante el arranque y el paro. Si el regulador de voltaje mantiene la tensión nominal mientras la unidad está a un 95% de su velocidad o menos, los volts/Hz en los terminales de la máquina serán 1,05 p.u. o más y pueden ocurrir daños en el generador o en el transformador de máquina.

También puede haber sobreexcitación durante un rechazo de carga que desconecte las líneas de transmisión de la estación de generación. Bajo estas condiciones, los volts/Hz pueden subir a 1,25 p.u. Con el control de excitación en servicio, la sobreexcitación generalmente se reducirá a valores límites en algunos segundos. Sin control de excitación, la sobreexcitación se mantendrá y pueden ocurrir daños en el generador o en el transformador.

Las fallas en el sistema de excitación o la pérdida de la señal de tensión del control de excitación pueden también causar sobreexcitación.

2.4.18. Protección de sobre frecuencia y baja frecuencia

Existen dos consideraciones principales relacionadas con la operación de generadores sincrónicos por fuera de su frecuencia nominal: el deterioro acelerado de los componentes mecánicos, tanto con la sobre frecuencia como con la baja frecuencia, y los efectos térmicos en el caso de la baja frecuencia.

Normalmente la turbina es más susceptible a las desviaciones de frecuencia que el generador. El principal problema es la fatiga de los álabes de la turbina, la cual es acumulativa y no reversible. Las turbinas de vapor tienen restricción de tiempo para operar a frecuencias diferentes a la nominal. Estos límites deben ser dados por el fabricante [20].

2.5. Aplicación de cada uno de los dispositivos electrónicos utilizados en generación

Las partes básicas de un generador son la potencia mecánica, los imanes y uno o más rotores. Si se carece de alguna de estas partes la electricidad no puede ser producida. Cada parte tiene su propio rol.

2.5.1. Imán

Un imán es un material que produce un campo magnético. Tiene un polo norte y uno sur y atrae materiales ferromagnéticos (metales que son atraídos al imán y que pueden ser magnetizados como el hierro, níquel o cobalto). Dentro de un generador de CA un imán crea un campo magnético entre el polo norte y el sur. Cuando el rotor se mueve entre los polos del imán los electrones de la bobina comienzan a moverse.

2.5.2. Rotor

El rotor es una bobina de alambre que gira en el interior del campo magnético. El material usado por el alambre debe ser un buen conductor (hecho de átomos con electrones atraídos débilmente). Cuando el cable se encuentra cerca del polo sur los electrones fluyen en una dirección y cuando está cerca del polo norte los electrones fluyen en la otra dirección. Dado que el cable gira del polo norte del imán al sur, luego de vuelta al norte y así sucesivamente, la corriente eléctrica cambia de dirección constantemente.

El rotor puede estar constituido por un imán permanente o más frecuentemente, por un electroimán. Un electroimán es un dispositivo formado por una bobina enrollada en torno a un material ferromagnético por la que se hace circular una corriente, que produce un campo magnético [21]. El campo magnético producido por un electroimán tiene la ventaja de ser más intenso que el de uno producido por un imán permanente y además su intensidad puede regularse.

El estator está constituido por bobinas por las que circulará la corriente. Cuando el rotor gira, el flujo del campo magnético a través del estator varía con el tiempo, por lo que se generará una corriente eléctrica. En este enlace puede verse un esquema de una central hidráulica en funcionamiento.

2.5.3. Dinamo

Las partes fundamentales de una dinamo son el inductor, el inducido, y el colector.

2.5.3.1. Inductor.

El inductor es fijo y se sitúa en el estator donde se encuentra la parte estática o sin movimiento de la máquina. Está formado por un electroimán de dos polos magnéticos en las máquinas bipolares como se muestra en la Figura, o de varios pares de polos en las multipolares.

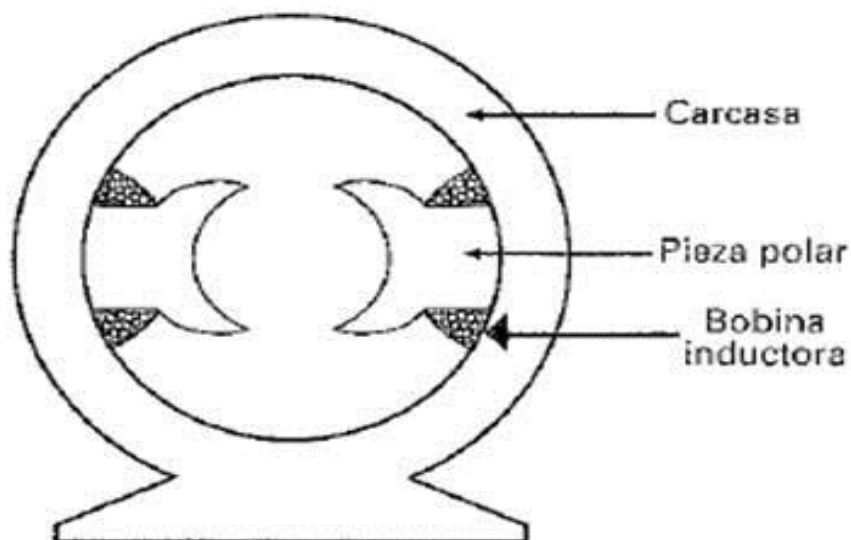


Figura N° 17: Inductor de una dinamo
Fuente: [8]

El bobinado y las piezas polares de hierro dulce del electroimán están rodeados por una carcasa o culata de fundición o de acero moldeado que sirve de soporte a la máquina y permite el cierre del circuito magnético.

2.5.3.2.El inducido.

El inducido es móvil y se sitúa el rotor (parte que se mueve en sentido giratorio de la máquina). Está compuesto de un núcleo magnético en forma de cilindro y constituido por chapas magnéticas apiladas, con el fin de evitar la pérdida por histéresis y corrientes parásitas, donde se bobinan las espiras con conductores de cobre esmaltados [22]. El núcleo de chapas dispone de una serie de ranuras donde se alojan los bobinados del inducido.

El núcleo queda fijado a un eje, cuyos extremos se deslizan apoyados en cojinetes fijos a la carcasa. De esta forma el inducido se sustenta entre las piezas polares del inductor, pudiendo ser impulsado en un movimiento de rotación rápido.

2.5.3.3. El colector.

En el eje del inducido se fija el colector de delgas formado por láminas de cobre electrolítico con el fin de poderle conectar los diferentes circuitos del inducido. Las delgas se aíslan del eje y entre sí por hojas de mica.

La corriente se recoge en el colector con la ayuda de dos o varios contactos deslizantes de grafito o de carbón puro, llamados escobillas:

2.5.4. Escobillas

Cada escobilla se monta en una porta escobillas, que asegura la presión de la misma contra el colector mediante muelles. De las escobillas parten los conductores que se conectan a la placa de bornes del dinamo, de donde se conectarán al circuito exterior [23]. Dada la fricción a la que se somete a las escobillas, se produce un desgaste progresivo de las mismas que limita su vida útil, teniendo que reponerlas cada ciertos períodos de tiempo.

CAPITULO III

ANALISIS DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRONICOS PARA EL MONITOREO DE GENERADOR ELECTRICO

3.1. Conceptos básicos de cada uno de los dispositivos electrónicos.

Un generador de corriente eléctrica es un dispositivo que permite la obtención de corriente inducida en forma mantenida, es decir, en él se origina y se mantiene durante el tiempo que se desee, el fenómeno de la inducción electromagnética.

Los generadores más utilizados en las centrales eléctricas son los que permiten obtener corriente alterna.

Todo generador eléctrico está constituido por partes fundamentales como:

El inducido o bobinado: formado por un conjunto de espiras, las cuales, al rotar cortan las líneas de inducción del campo magnético del inductor, constituido por un imán. Esto determina que en las espiras se induzca una corriente eléctrica, la cual se mantiene mientras las espiras se mantengan rotando en el interior del inductor.

Las escobillas: contactos encargados de llevar al exterior la corriente generada, que se deslizan sobre el colector que son anillos soldados a los extremos del inducido.

En este tipo de generador, a diferencia del de corriente continua, el colector no está fraccionado, sino que está constituido por dos anillos aislados uno del otro. La corriente inducida se detecta con el galvanómetro.

La corriente suministrada por un generador de este tipo al exterior a través de las escobillas, invierte su sentido periódicamente. Cada media vuelta del inducido, la corriente invierte su sentido. En este tipo de generador, la intensidad varía constantemente, aumenta desde cero hasta cierto valor, luego disminuye hasta hacerse cero para invertir su sentido y variar su valor de la misma forma [24].

El generador, básicamente, consta de dos elementos, la excitatriz y el alternador. La excitatriz es una dinamo que recibe una tensión continua en el rotor por medio de unos anillos de rozamiento y unas escobillas. En el estator de la excitatriz tendremos una tensión más alta que se envía al alternador. Las excitatrices pueden ser autexcitables o con excitación externa. Si tienen un campo magnético remanente se llaman autoexcitables. Las otras reciben la tensión de unas baterías.

El alternador recibe la tensión de la excitatriz en el rotor por medio de unas escobillas que rozan en el colector. Esta tensión se ve aumentada en el estator (todos sabemos lo de los campos magnéticos, los polos, el conductor que corta un campo magnético, etc.). La tensión de salida se toma por unos cables y se envía al transformador para elevarla ya que la tensión de salida de un alternador no puede ser muy alta por razones obvias de aislamiento[25]. Una vez que la tensión se ha elevado, ya se puede enviar a la red para su utilización.

Bobina fija del alternador [llamada estator] interceptan el campo magnético rotatorio, generado por el rotor, esta intercepción, se intensifica con un núcleo cilíndrico de hierro dulce laminado.

1. Los diodos, convierten la CA en CD [CA=corriente alterna --CD=corriente directa o continua]
2. Bobinas del estator, donde se origina la corriente.
3. Núcleo del estator.
4. Embobinado del rotor.
5. Rotor [campo magnético]
6. Polea impulsada por el motor con una banda,[correa, faja] y ventilador para enfriar el alternador
7. Estructura [casco, housing]
8. Anillos colectores, transmite la corriente al embobinado, del rotor, para mantenerlo magnetizado.
9. Escobillas, [carbones, brochas cepillos]; abastecen de corriente a los anillos colectores.

3.1.1. Descripción de las partes constitutivas de la máquina

Las máquinas DC son generadores que convierten energía mecánica en energía eléctrica DC y motores que convierten energía eléctrica DC en energía mecánica. La mayoría de las máquinas DC son semejantes a las máquinas AC porque tienen voltajes y corrientes AC dentro de ellas; las máquinas DC tienen una salida DC sólo porque existe un mecanismo que convierte los voltajes AC internos en voltajes DC en sus terminales. Puesto que este mecanismo se denomina conmutador, la máquina DC se conoce también como máquina de colector o conmutada.

La estructura física de la máquina consta de dos partes: el estator o parte estacionaria de la máquina y el rotor o parte rotante de la máquina. La parte estacionaria de la máquina consta de una estructura que proporciona el soporte físico y las piezas polares, las cuales se proyectan hacia dentro y proveen el camino para el flujo magnético en la máquina [26]. Los extremos de las piezas polares cercanos al rotor se extienden hacia fuera, sobre la superficie del rotor, para distribuir el flujo uniformemente sobre la superficie del rotor. Estos extremos son llamados zapatas polares. La superficie expuesta de una zapata polar se llama cara polar y la distancia entre la cara polar y el rotor se llama entrehierro.

En una máquina hay dos devanados principales: los devanados inducidos (armadura) y los devanados de campo. Los devanados de campo están definidos como aquellos que producen el flujo magnético principal en la máquina. En una máquina de CC, los devanados del inducido están localizados en el rotor y los devanados de campo están localizados en el estator.

Partes constitutivas de la máquina de C.C.

- 1- Culata
- 2- Núcleo Polar
- 3- Zapata polar
- 4- Polo auxiliar
- 5- Polo auxiliar
- 6- Inducido
- 7- Devanado del inducido
- 8- Devanado de excitación

- 9- Devanado de los polos auxiliares
- 10- Colector de delgas
- 11- Escobilla
- 12- Escobilla
- 13- Pies de la máquina

A continuación se presenta una descripción de las partes más importantes de la máquina:

Polos Principales. Este consta del núcleo polar (inductor) armado de chapas de acero. Por el lado que se encuentra frente al inducido, se tiene la zapata polar que sirve para facilitar el paso del flujo magnético a través del espacio de aire. En el núcleo polar va colocada la bobina de excitación, por la cual pasa corriente continua [27]. La bobina se arrolla al armazón hecho bien de chapa de acero de 1-2 mm. Para mejorar el enfriamiento, la bobina se divide por su altura en dos o varias partes, entre las cuales se dejan canales de ventilación de suficiente anchura. La sujeción de los polos al armazón se realiza con la ayuda de pernos.

Las partes constitutivas se enumeran a continuación:

- 1- Bobina de excitación
- 2- Armazón
- 3- Pernos
- 4- Armazón
- 5- Núcleo
- 6- Zapata

Inductor: Es la parte de la máquina destinada a producir un campo magnético, necesario para que se produzcan corrientes inducidas, que se desarrollan en el inducido. El inductor consta de las partes siguientes:

Pieza polar: Es la parte del circuito magnético situada entre la culata y el entrehierro, incluyendo el núcleo y la expansión polar.

Núcleo: Es la parte del circuito magnético rodeada por el devanado inductor.

Devanado inductor: es el conjunto de espiras destinado a producir el flujo magnético, al ser recorrido por la corriente eléctrica.

Expansión polar: es la parte de la pieza polar próxima al inducido y que bordea al entrehierro.

Polo auxiliar o de conmutación: Es un polo magnético suplementario, provisto o no, de devanados y destinado a mejorar la conmutación. Suelen emplearse en las máquinas de mediana y gran potencia.

Culata: Es una pieza de sustancia ferromagnética, no rodeada por devanados, y destinada a unir los polos de la máquina.

Inducido: Es la parte giratoria de la máquina, también llamado rotor. El inducido consta de las siguientes partes:

Devanado inducido: es el devanado conectado al circuito exterior de la máquina y en el que tiene lugar la conversión principal de la energía.

Colector: es el conjunto de láminas conductoras (delgas), aisladas unas de otras, pero conectadas a las secciones de corriente continua del devanado y sobre las cuales frotan las escobillas.

Núcleo del inducido: Es una pieza cilíndrica montada sobre el cuerpo (o estrella) fijado al eje, formada por núcleo de chapas magnéticas. Las chapas disponen de unas ranuras para alojar el devanado inducido.

Escobillas: Son piezas conductoras destinadas a asegurar, por contacto deslizante, la conexión eléctrica de un órgano móvil con un órgano fijo.

Entrehierro: Es el espacio comprendido entre las expansiones polares y el inducido; suele ser normalmente de 1 a 3 mm, lo imprescindible para evitar el rozamiento entre la parte fija y la móvil [28].

Cojinetes: Son las piezas que sirven de apoyo y fijación del eje del inducido.

El arrollamiento del inducido está unido por conductores con las láminas del colector; inducido y colector giran conjuntamente. Sobre la superficie del colector rozan unos contactos a presión mediante unos muelles. Dichas piezas de contacto se llaman escobillas [29]. El espacio libre entre las piezas polares y el inducido se llama entrehierro.

3.2. Monitoreo y control del generador eléctrico.

Es indispensable el uso de una instrumentación electrónica la cual es la parte de la electrónica, principalmente analógica, que se encarga del diseño y manejo de los aparatos electrónicos y eléctricos, sobre todo para su uso en mediciones.

Para poder determinar cualquier tipo de anomalías en el sistema, es conveniente realizar un estudio de calidad de la energía, y de acuerdo a este, realizar la toma de decisiones de forma inteligente y segura, con el fin de poder manejar nuevas expansiones, eliminación de fenómenos eléctricos, correcto dimensionamiento de protecciones y poder regirse a lo que establecen las regulaciones referentes a la calidad de la energía [30].

Para lograr este fin nos valemos de algunos equipos o analizadores eléctricos, los cuales nos sirven para realizar un monitoreo y también llevar un registro de la calidad de la energía; un analizador eléctrico de calidad de suministro, debe ser capaz de analizar por sí mismo todos los fenómenos eléctricos no deseados que podrían afectar a la carga y/o a la fuente suministradora de la energía eléctrica.

En el caso de sistemas de corriente alterna, estos equipos deberán ser capaces de mostrar en pantalla en tiempo real a la onda variable en el tiempo (voltaje o corriente) con todas las perturbaciones asociadas a esta, con un muestreo superior a las 128 muestras por ciclo eléctrico (1 Hz) y por canal de medida, sin multiplexación de ningún tipo de los muestreos de los diversos canales, analizando los ciclos pre y post evento. También es necesario que los eventos sean categorizados, para su análisis independiente e interpretación correcta de resultados.

La instrumentación electrónica se aplica en el sensado y procesamiento de la información proveniente de variables, a partir de las cuales realiza el monitoreo y control de procesos, empleando dispositivos y tecnologías electrónicas.

Tipos de equipos usados para realizar el monitoreo de la calidad de la energía.

Los equipos o tecnologías empleados para llevar el registro y monitoreo de la calidad de la energía eléctrica son numerosos, pues muchas casas comerciales han lanzado sus propias unidades para lograr este fin.

3.2.1. Analizador de Calidad ANALYST 3Q de LEM.

El ANALYST 3Q de LEM es un instrumento que mide todos los parámetros fundamentales de calidad de la energía en sistemas de 50 y 60 Hz: valores r.m.s. (Root Mean Square – Raíz Media Cuadrática) de tensión y corriente, eventos, armónicos, flicker, tensión, desequilibrio para tensión y corriente y frecuencia de línea. Este instrumento ofrece un exclusivo modo de visualización de calidad de la energía trifásica que muestra todos los parámetros clave en una sola pantalla para un rápido y fácil diagnóstico de problemas relacionados con la calidad de la energía. Además, mide los parámetros de potencia más importantes, incluyendo potencia activa, potencia aparente, potencia reactiva, factor de potencia, ángulo de fase y energía activa y reactiva [31].

3.2.2. Analizador de Calidad Fluke 345.

El modelo Fluke 345 es capaz de medir una amplia gama de parámetros eléctricos para la detección y solución de problemas relacionados con perturbaciones de calidad eléctrica en sistemas eléctricos con cargas monofásicas y trifásicas. Su pantalla de color permite visualizar formas de onda y tendencias, dispone de un filtro pasa bajo para eliminar el ruido de alta frecuencia, además posee un diseño que ofrece una alta inmunidad a las EMC (Emisiones electromagnéticas), el Fluke 345 cuenta con todo lo necesario para ser el instrumento idóneo para medidas en sistemas con cargas conmutadas tales como variadores de velocidad, sistemas de iluminación electrónica y SAI (Fuente de Alimentación Ininterrumpida).

3.2.3. Analizador de Calidad Fluke 43B

El modelo de Analizador de Calidad Fluke 43B es un equipo idóneo para el diagnóstico y localización de problemas relacionados con la calidad de la energía eléctrica y fallos generales en equipos. Es fácil de utilizar, combina las funciones de un analizador de calidad eléctrica, un osciloscopio de 20 MHz, un multímetro y un registrador de datos en un solo instrumento.

3.2.4. Registrador de calidad de tensión Fluke VR1710

El Fluke VR1710 es un registrador de calidad eléctrica para tensión monofásica que ofrece un registro fácil y rápido de los fenómenos de la tensión, caídas de voltaje, armónicos y calidad general de la energía eléctrica, incluidas fluctuaciones y sobretensiones, para facilitar al personal de mantenimiento y de gestión de instalaciones la localización de la causa de los problemas de tensión. Los parámetros de calidad de

tensión, como el valor eficaz promedio, transitorios, parpadeos y armónicos hasta el número 32 se registran durante un período de tiempo medio definido por el usuario de entre 1 segundo y 20 minutos [32].

3.2.5. Sensores

Un elemento imprescindible para la toma de medidas es el sensor que se encarga de transformar la variación de la magnitud a medir en una señal eléctrica. Los sensores se pueden dividir en:

3.2.5.1. Pasivos

Los que necesitan un aporte de energía externa.

3.2.5.2. Resistivos

Son los que transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de su resistencia eléctrica. Un ejemplo puede ser un termistor, que sirve para medir temperaturas.

3.2.5.3. Capacitivos

Son los que transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de la capacidad de un condensador. Un ejemplo es un condensador con un material en el dieléctrico que cambie su conductividad ante la presencia de ciertas sustancias.

3.2.5.4. Inductivos

Son los que transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de la inductancia de una bobina. Un ejemplo puede ser una bobina con el núcleo móvil, que puede servir para medir desplazamientos.

3.2.5.5. Activos

Los que son capaces de generar su propia energía. A veces también se les llama sensores generadores. Un ejemplo puede ser un transistor en el que la puerta se sustituye por una membrana permeable sólo a algunas sustancias (IsFET), que puede servir para medir concentraciones [33].

Otros ejemplos son: termopar, fotorresistencia, fotodiodo, fototransistor, condensador de placas móviles, sensor de efecto Hall, etc.

A veces también se puede aprovechar una característica no deseada de un elemento, como la dependencia de la temperatura en los semiconductores, para usar estos elementos como sensores.

3.2.5.6. Acondicionadores

La señal de salida de un sensor no suele ser válida para su procesamiento. Por lo general requiere de una amplificación para adaptar sus niveles a los del resto de la circuitería. Un ejemplo de amplificador es el amplificador de instrumentación, que es muy inmune a cierto tipo de ruido.

No sólo hay que adaptar niveles, también puede que la salida del sensor no sea lineal o incluso que ésta dependa de las condiciones de funcionamiento (como la temperatura ambiente o la tensión de alimentación) por lo que hay que linealizar el sensor y compensar sus variaciones [34]. La compensación puede ser hardware o software, en este último caso ya no es parte del acondicionador.

Otras veces la información de la señal no está en su nivel de tensión, puede que esté en su frecuencia, su corriente o en algún otro parámetro, por lo que también se pueden necesitar demoduladores, filtros o convertidores corriente-tensión. Un ejemplo de cuando la información no está en el nivel de tensión puede ser un sensor capacitivo, en el que se necesita que tenga una señal variable en el tiempo (preferentemente sinusoidal).

Un ejemplo clásico de acondicionador es el puente de Wheatstone, en el que se sustituyen una o varias impedancias del puente por sensores. Seguidamente típicamente se coloca un amplificador.

Por último, entre el acondicionador y el siguiente paso en el proceso de la señal puede haber una cierta distancia o un alto nivel de ruido, por lo que una señal de tensión no es adecuada al verse muy afectada por estos dos factores. En este caso se debe adecuar la señal para su transporte, por ejemplo transmitiendo la información en la frecuencia o en la corriente (por ejemplo el bucle de 4-20mA).

3.2.6. Digitalización

Para un procesamiento de la señal eficaz hay que convertir la señal en digital. La instrumentación también estudia la conversión, así como la conversión digital-analógica. Por otra parte también pueden usarse técnicas de multiplexación de señales en el caso que haya más de una para medir.

3.2.7. Equipos electrónicos

Otra parte de la instrumentación es, como su nombre indica, el estudio de los instrumentos electrónicos. Éstos pueden ser parte del sistema que realizará la medida o ser el propio sistema.

Algunos instrumentos son el multímetro, el osciloscopio, sondas, etc. Otros equipos no están directamente diseñados para las medidas, como las fuentes de alimentación.

3.2.8. Instrumentación virtual

Por último, una de las nuevas tendencias en la instrumentación es la instrumentación virtual. La idea es sustituir y ampliar elementos "hardware" por otros "software", para ello se emplea un procesador (normalmente un PC) que ejecute un programa específico, este programa se comunica con los dispositivos para configurarlos y leer sus medidas [35].

Las ventajas de la instrumentación virtual son que es capaz de automatizar las medidas, procesamiento de la información, visualización y actuación remotamente, etc.

Algunos programas especializados en este campo son LabVIEW y Agilent-VEE (antes HP-VEE). Y algunos buses de comunicación populares son GPIB, RS-232, USB, etc.

3.3. Características importantes de los dispositivos electrónicos utilizados en generadores eléctricos

3.3.1. Diodos

Los cuáles convierten la CA es decir corriente alterna en CD es decir corriente directa o continua.

3.3.1.1. Polarización directa:

Cuando la corriente circula en sentido directo, es decir del ánodo A al cátodo K, siguiendo la ruta de la flecha (la del diodo). En este caso la corriente atraviesa el diodo con mucha facilidad comportándose prácticamente como un corto circuito. El diodo conduce.

3.3.1.2. Polarización inversa:

Cuando una tensión negativa en bornes del diodo tiende a hacer pasar la corriente en sentido inverso, opuesto a la flecha (la flecha del diodo), o sea del cátodo al ánodo. En este caso la corriente no atraviesa el diodo, y se comporta prácticamente como un circuito abierto [36]. El diodo está bloqueado.

Como todos los componentes electrónicos, los diodos poseen propiedades que les diferencia de los demás semiconductores por lo tanto obtenemos:

Tabla N° 3: Valores nominales de tensión

Valores nominales de tensión	
V_F	Tensión directa en los extremos del diodo en conducción
V_R	Tensión inversa en los extremos del diodo en polarización inversa
V_{RSM}	Tensión inversa de pico no repetitiva
V_{RRM}	Tensión inversa de pico repetitiva
V_{RWM}	Tensión inversa de cresta de funcionamiento

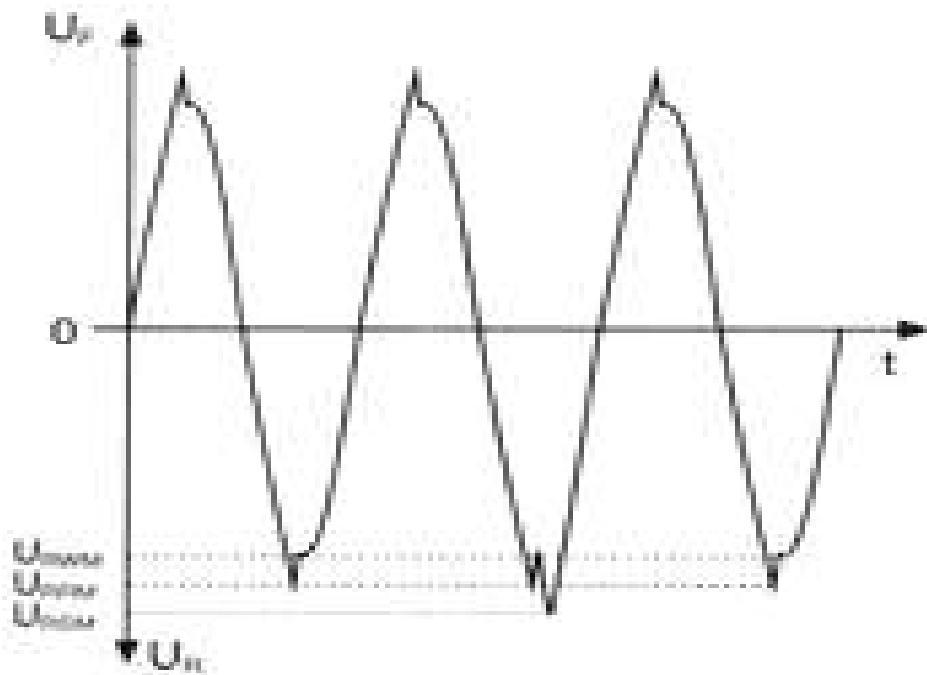


Figura N° 18: Curva de polarización inversa
Fuente: [8]

3.3.2. Bobinas del estator, donde se origina la corriente.

Consta de dos partes fundamentales, el inductor, que es el que crea el campo magnético y el inducido que es el conductor atravesado por las líneas de fuerza de dicho campo magnético.

La principal aplicación del alternador es la de generar energía eléctrica de corriente alterna para entregar a la red eléctrica, aunque también, desde la invención de los rectificadores de silicio, son la principal fuente de energía eléctrica en todo tipo de vehículos como automóviles, aviones, barcos y trenes, desplazando al dinamo por ser más eficiente y económico[37].

3.3.3. Bobinado del rotor.

Como características principales están el tener un alto par de arranque, menor intensidad de arranque que otras arquitecturas y una mejor y más fácil regulación de velocidad.

3.3.4. Anillos colectores.

Transmite la corriente al embobinado, del rotor, para mantenerlo magnetizado.

Son dispositivos para la transmisión de corriente y señales eléctricas de una parte estática a una rodante de la máquina. Por medio de estos anillos rozantes pueden enviarse señales desde baja a muy alta intensidad y también señales o datos digitales.

3.3.5. Escobillas

También denominados como: carbones, brochas cepillos.

Abastecen de corriente a los anillos colectores.

Escobillas con un buen poder de conmutación, generalmente pulidoras, con caída media de tensión al contacto, resistentes tanto a las altas temperaturas como a las cargas variables.

Se fabrican a partir de mezclas de polvo de carbono, de grafito natural y de grafito artificial triturados, tamizados y aglomerados con un aglomerante.

Escobillas con caída media de tensión al contacto y frotamiento bajo o medio, es decir, con pérdidas reducidas por lo que se adaptan especialmente a las velocidades altas (≤ 50 m/seg.).

Escobillas con elevada resistencia mecánica y eléctrica, con gran poder de conmutación, generalmente pulidoras, con alta caída de tensión al contacto, es decir, con pérdidas elevadas. Pueden funcionar con muy baja densidad de corriente[38].

3.4. Proceso básico de los dispositivos electrónicos.

3.4.1. Diodo.

Un diodo es un componente electrónico con dos terminales que sólo deja pasar la corriente eléctrica en un sentido. Al igual que ocurre con técnicas de neumática o hidráulica, que a veces interesa dejar pasar el aire (o el agua) en un sentido, bloqueando en el otro, en electrónica podemos hacer lo mismo con la corriente eléctrica gracias al diodo.

Los diodos utilizados actualmente están hechos en su mayoría por un tipo de materiales conocidos como "semiconductores".

Los diodos modernos están basados en la unión de dos diminutos cristales (a base de silicio o germanio). Un cristal es de tipo "P", y el otro es de tipo "N". Se consiguen cristales de tipo P o N dopando o contaminando esos cristales con pequeñas cantidades de diversos materiales como indio, galio, y numerosos compuestos como sulfuros de cadmio y plomo, arseniuros, óxidos [39].

3.4.2. Rotor

Es la parte móvil conectada al eje de la turbina. Es el que actúa como inductor.

El rotor puede estar constituido por un imán permanente o más frecuentemente, por un electroimán. Un electroimán es un dispositivo formado por una bobina enrollada en torno a un material ferromagnético por la que se hace circular una corriente, que produce un campo magnético. El campo magnético producido por un electroimán tiene la ventaja de ser más intenso que el de uno producido por un imán permanente y además su intensidad puede regularse.

3.4.3. Escobillas

Estas piezas se deslizan sobre las barras del conmutador y llevan la corriente de carga de las bobinas del rotor al circuito externo. Los porta carbones sujetan los carbones contra la superficie del conmutador mediante resortes, para mantener una presión razonablemente constante y que se deslicen de modo uniforme.

3.4.4. Colector

El colector consta de delgas de cobre electrolítico, aisladas entre sí por separadores de mica. Forma un cuerpo anular estratificado en todo el perímetro, que va aislado respecto a las piezas soporte [40]. Para evitar vibraciones posteriores por solicitaciones térmicas o mecánicas y para conferirle mayor estabilidad mecánica, se trabaja con mica especial con un reducido contenido en conglomerante del 3 % para las láminas aislantes y del 5 % para el aislamiento del cuerpo.

De acuerdo con la aplicación, se diferencian cinco tipos básicos de construcción de colectores:

- **El cuerpo anular del colector de cola de milano**, tras un prensado radial cuidadoso, se le tornea en forma de cola de milano por ambos extremos y se le sujeta con un anillo aislante de la forma correspondiente. En colectores largos de alta velocidad periférica, a veces es necesario emplear un colector de cola de milano doble debido a la muy alta sollicitación.
- **El colector suspendido o de membrana**, se utiliza en máquinas de muy altas revoluciones, por ejemplo, en turbogeneradores o máquinas de vaivén. El cuerpo anular, que es sostenido radialmente con anillos de contracción, va fijado en el lado del devanado a un anillo soporte prensado al eje, mientras que el otro lado es guiado por un disco elástico (membrana) apoyado sobre el eje. Este permite una dilatación axial del colector, y reduce con ello la sollicitación por efectos mecánicos y térmicos [41]. Este tipo de construcción es efectivamente cara, pero satisface cualquier exigencia especial en relación con la resistencia.
- **El colector cónico** surgió con motivo de la exigencia de un diámetro grande del eje y un diámetro pequeño del colector para velocidad periférica máxima. El cuerpo anular tiene en ambos extremos un taladro cónico. Se le soporta en sentido radial mediante anillos de contracción, en el lado del devanado se apoya en el eje cónico y se retiene con un anillo cónico.
- **El colector de material prensado** posee un cuerpo soporte de conglomerado de resina sintética, en el que se funde el cuerpo formado por las delgas. Los suplementos previstos en el canto interior de las delgas de cobre aseguran la unión con el material prensado. Un casquillo de acero incrustado ofrece una transmisión directa de todo el colector con el eje. El colector de material prensado se utiliza fundamentalmente en pequeñas máquinas hasta un diámetro de colector de 200 mm.

3.4.5. Estator

Está constituido por bobinas por las que circulará la corriente. Cuando el rotor gira, el flujo del campo magnético a través del estator varía con el tiempo, por lo que se generará una corriente eléctrica. En este enlace puede verse un esquema de una central hidráulica en funcionamiento.

3.4.6. Alternador

Tanto los alternadores como generadores llamados también dinamos producen corriente, creando movimiento entre un conductor y un campo magnético.

La misma escobilla cambiaria de polaridad (polo + a -) en cada vuelta completa de la espira.

Y por último si en lugar de una espira se construye un bobinado, es decir muchas espiras, se tiene una dinamo que produce más corriente o mayor tensión en sus extremos y además constantemente [42]. Hay que fijarse que con una sola espira cuando está perpendicular al campo, es decir fuera de él, los conductores de la espira no cortan el campo y por lo tanto no producen corriente, esto se evita poniendo más espiras en todos los ángulos.

Cuando no se conecta nada en los extremos aunque no se obtenga algún tipo de corriente se generara una tensión, que es la que hará que al conectar un receptor comience a circular corriente eléctrica.

CAPITULO IV

CONFIABILIDAD, COSTOS Y DURABILIDAD DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRONICOS.

4.1. Variedad y durabilidad de cada dispositivo electrónico

4.1.1. Diodos

Un diodo es un componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido. Este término generalmente se usa para referirse al diodo semiconductor, el más común en la actualidad; consta de una pieza de cristal semiconductor conectada a dos terminales eléctricos. El diodo (que actualmente ya no se usa, excepto para tecnologías de alta potencia) es un tubo de vacío con dos electrodos: una lámina como ánodo, y un cátodo.

De forma simplificada, la curva característica de un diodo (I-V) consta de dos regiones: por debajo de cierta diferencia, se comporta como un circuito abierto (no conduce), y por encima de ella como un circuito cerrado con una resistencia eléctrica muy pequeña. Debido a este comportamiento, se les suele denominar rectificadores, ya que son dispositivos capaces de suprimir la parte negativa de cualquier señal, como paso inicial para convertir una corriente alterna en corriente continua.

Los primeros diodos eran válvulas o tubos de vacío, también llamados válvulas termoiónicas constituidos por dos electrodos rodeados de vacío en un tubo de cristal, con un aspecto similar al de las lámparas incandescentes.

4.1.1.1. Diodos termoiónicos y de estado gaseoso

Símbolo de un diodo de vacío o gaseoso. De arriba a abajo, sus componentes son, el ánodo, el cátodo, y el filamento.

Los diodos termoiónicos son dispositivos de válvula termoiónica (también conocida como tubo de vacío), que consisten en un arreglo de electrodos empacados en un vidrio al vacío. Los primeros modelos eran muy parecidos a la lámpara incandescente.

En los diodos de válvula termoiónica, una corriente a través del filamento que se va a calentar calienta indirectamente el cátodo, otro electrodo interno tratado con una mezcla de Bario y óxido de estroncio, los cuales son óxidos alcalinotérreos; se eligen estas sustancias porque tienen una pequeña función de trabajo (algunas válvulas usan calentamiento directo, donde un filamento de tungsteno actúa como calentador y como cátodo). El calentamiento causa emisión termoiónica de electrones en el vacío. En polarización directa, el ánodo estaba cargado positivamente por lo cual atraía electrones [43]. Sin embargo, los electrones no eran fácilmente transportados de la superficie del ánodo que no estaba caliente cuando la válvula termoiónica estaba en polarización inversa. Además, cualquier corriente en este caso es insignificante.

4.1.1.2. Diodo semiconductor

Un diodo semiconductor moderno está hecho de cristal semiconductor como el silicio con impurezas en él para crear una región que contiene portadores de carga negativa (electrones), llamado semiconductor de tipo n, y una región en el otro lado que contiene portadores de carga positiva (huecos), llamado semiconductor tipo p. Las terminales del diodo se unen a cada región. El límite dentro del cristal de estas dos regiones, llamado una unión PN, es donde la importancia del diodo toma su lugar. El cristal conduce una corriente de electrones del lado n (llamado cátodo), pero no en la dirección opuesta; es decir, cuando una corriente convencional fluye del ánodo al cátodo (opuesto al flujo de los electrones).

Al unir ambos cristales, se manifiesta una difusión de electrones del cristal n al p (Je). Al establecerse una corriente de difusión, aparecen cargas fijas en una zona a ambos lados de la unión, zona que recibe el nombre de región de agotamiento.

A medida que progresa el proceso de difusión, la región de agotamiento va incrementando su anchura profundizando en los cristales a ambos lados de la unión [44]. Sin embargo, la acumulación de iones positivos en la zona n y de iones negativos en la zona p, crea un campo eléctrico (E) que actuará sobre los electrones libres de la zona n con una determinada fuerza de desplazamiento, que se opondrá a la corriente de electrones y terminará deteniéndolos.

Este campo eléctrico es equivalente a decir que aparece una diferencia de tensión entre las zonas p y n. Esta diferencia de potencial (V_D) es de 0,7 V en el caso del silicio y 0,3 V para los cristales de germanio.

Existen varios diodos semiconductores como son:

- **Diodo avalancha:** Diodos que conducen en dirección contraria cuando el voltaje en inverso supera el voltaje de ruptura. Eléctricamente son similares a los diodos Zener, pero funciona bajo otro fenómeno, el efecto avalancha. Esto sucede cuando el campo eléctrico inverso que atraviesa la unión p-n produce una onda de ionización, similar a una avalancha, produciendo una corriente. Los diodos avalancha están diseñados para operar en un voltaje inverso definido sin que se destruya. La diferencia entre el diodo avalancha (el cual tiene un voltaje de reversa de aproximadamente 6.2V) y el diodo zener es que el ancho del canal del primero excede la "libre asociación" de los electrones, por lo que se producen colisiones entre ellos en el camino. La única diferencia práctica es que los dos tienen coeficientes de temperatura de polaridades opuestas.
- **Diodo de Silicio:** Suelen tener un tamaño milimétrico y, alineados, constituyen detectores multicanal que permiten obtener espectros en milisegundos. Son menos sensibles que los fotomultiplicadores. Es un semiconductor de tipo p (con huecos) en contacto con un semiconductor de tipo n (electrones). La radiación comunica la energía para liberar los electrones que se desplazan hacia los huecos, estableciendo una corriente eléctrica proporcional a la potencia radiante.
- **Diodo de cristal:** Es un tipo de diodo de contacto. El diodo cristal consiste de un cable de metal afilado presionado contra un cristal semiconductor, generalmente galena o de una parte de carbón. El cable forma el ánodo y el cristal forma el cátodo. Los diodos de cristal tienen una gran aplicación en los radio a galena. Los diodos de cristal están obsoletos, pero puede conseguirse todavía de algunos fabricantes.
- **Diodo de corriente constante:** Realmente es un JFET, con su compuerta conectada a la fuente, y funciona como un limitador de corriente de dos terminales análogo al diodo Zener, el cual limita el voltaje. Permiten una corriente a través de ellos para alcanzar un valor adecuado y así estabilizarse en

un valor específico. También suele llamarse CLDs (por sus siglas en inglés) o diodo regulador de corriente.

- Diodo túnel o Esaki: Tienen una región de operación que produce una resistencia negativa debido al efecto túnel, permitiendo amplificar señales y circuitos muy simples que poseen dos estados [45]. Debido a la alta concentración de carga, los diodos túnel son muy rápidos, pueden usarse en temperaturas muy bajas, campos magnéticos de gran magnitud y en entornos con radiación alta. Por estas propiedades, suelen usarse en viajes espaciales.
- Diodo Gunn: Similar al diodo túnel son construidos de materiales como GaAs o InP que produce una resistencia negativa. Bajo condiciones apropiadas, las formas de dominio del dipolo y propagación a través del diodo, permitiendo osciladores de ondas microondas de alta frecuencia.
- Diodo emisor de luz: Es un diodo formado de un semiconductor con huecos en su banda de energía, tal como arseniuro de galio, los portadores de carga que cruzan la unión emiten fotones cuando se recombinan con los portadores mayoritarios en el otro lado. Dependiendo del material, la longitud de onda que se pueden producir varía desde el infrarrojo hasta longitudes de onda cercanas al ultravioleta. El potencial que admiten estos diodos dependen de la longitud de onda que ellos emiten: 2.1V corresponde al rojo, 4.0V al violeta. Los primeros ledes fueron rojos y amarillos. Los ledes blancos son en realidad combinaciones de tres ledes de diferente color o un led azul revestido con un centelleador amarillo. Los ledes también pueden usarse como fotodiodos de baja eficiencia en aplicaciones de señales. Un led puede usarse con un fotodiodo o fototransistor para formar un optoacoplador.
- Diodo láser: Cuando la estructura de un led se introduce en una cavidad resonante formada al pulir las caras de los extremos, se puede formar un láser. Los diodos láser se usan frecuentemente en dispositivos de almacenamiento ópticos y para la comunicación óptica de alta velocidad.
- Diodo térmico: Este término también se usa para los diodos convencionales usados para monitorear la temperatura a la variación de voltaje con la temperatura, y para refrigeradores termoeléctricos para la refrigeración termoeléctrica. Los refrigeradores termoeléctricos se hacen de semiconductores, aunque ellos no tienen ninguna unión de rectificación, aprovechan el

comportamiento distinto de portadores de carga de los semiconductores tipo P y N para transportar el calor.

- Fotodiodos: Todos los semiconductores están sujetos a portadores de carga ópticos. Generalmente es un efecto no deseado, por lo que muchos de los semiconductores están empacados en materiales que bloquean el paso de la luz. Los fotodiodos tienen la función de ser sensibles a la luz (fotocelda), por lo que están empacados en materiales que permiten el paso de la luz y son por lo general PIN (tipo de diodo más sensible a la luz). Un fotodiodo puede usarse en celdas solares, en fotometría o en comunicación óptica. Varios fotodiodos pueden empacarse en un dispositivo como un arreglo lineal o como un arreglo de dos dimensiones. Estos arreglos no deben confundirse con los dispositivos de carga acoplada.
- Diodo con puntas de contacto: Funcionan igual que los diodos semiconductores de unión mencionados anteriormente aunque su construcción es más simple. Se fabrica una sección de semiconductor tipo n, y se hace un conductor de punta aguda con un metal del grupo 3 de manera que haga contacto con el semiconductor. Algo del metal migra hacia el semiconductor para hacer una pequeña región de tipo p cerca del contacto. El muy usado 1N34 (de fabricación alemana) aún se usa en receptores de radio como un detector y ocasionalmente en dispositivos analógicos especializados.
- Diodo PIN: Un diodo PIN tiene una sección central sin doparse o en otras palabras una capa intrínseca formando una estructura p-intrínseca-n. Son usados como interruptores de alta frecuencia y atenuadores. También son usados como detectores de radiación ionizante de gran volumen y como fotodetectores. Los diodos PIN también se usan en la electrónica de potencia y su capa central puede soportar altos voltajes. Además, la estructura del PIN puede encontrarse en dispositivos semiconductores de potencia, tales como IGBTs, MOSFETs de potencia y tiristores.
- Diodo Schottky: El diodo Schottky están contruidos de un metal a un contacto de semiconductor. Tiene una tensión de ruptura mucho menor que los diodos pn. Su tensión de ruptura en corrientes de 1mA está en el rango de 0.15V a 0.45V, lo cual los hace útiles en aplicaciones de fijación y prevención de saturación en un transistor. También se pueden usar como rectificadores con bajas pérdidas

aunque su corriente de fuga es mucho más alta que la de otros diodos. Los diodos Schottky son portadores de carga mayoritarios por lo que no sufren de problemas de almacenamiento de los portadores de carga minoritarios que ralentizan la mayoría de los demás diodos (por lo que este tipo de diodos tiene una recuperación inversa más rápida que los diodos de unión pn. Tienden a tener una capacitancia de unión mucho más baja que los diodos pn que funcionan como interruptores veloces y se usan para circuitos de alta velocidad como fuentes conmutadas, mezclador de frecuencias y detectores.

- **Stabistor:** El stabistor (también llamado Diodo de Referencia en Directa) es un tipo especial de diodo de silicio cuyas características de tensión en directa son extremadamente estables. Estos dispositivos están diseñados especialmente para aplicaciones de estabilización en bajas tensiones donde se requiera mantener la tensión muy estable dentro de un amplio rango de corriente y temperatura.

4.1.2. Bobina de conductor,

Típicamente alambre o hilo de cobre esmaltado. Existen inductores con núcleo de aire o con núcleo hecho de material ferroso (por ejemplo, acero magnético), para incrementar su capacidad de magnetismo.

Los inductores también pueden estar contruidos en circuitos integrados, usando el mismo proceso utilizado para realizar microprocesadores. En estos casos se usa, comúnmente, el aluminio como material conductor [46]. Sin embargo, es raro que se construyan inductores dentro de los circuitos integrados; es mucho más práctico usar un circuito llamado "girador" que, mediante un amplificador operacional, hace que un condensador se comporte como si fuese un inductor.

El inductor consta de las siguientes partes:

- **Devanado inductor:** Es el conjunto de espiras destinado a producir el flujo magnético, al ser recorrido por la corriente eléctrica.
- **Culata:** Es una pieza de sustancia ferromagnética, no rodeada por devanados, y destinada a unir los polos de la máquina.

- **Pieza polar:** Es la parte del circuito magnético situada entre la culata y el entrehierro, incluyendo el núcleo y la expansión polar.
- **Núcleo:** Es la parte del circuito magnético rodeada por el devanado inductor.
- **Expansión polar:** Es la parte de la pieza polar próxima al inducido y que bordea al entrehierro.
- **Polo auxiliar o de conmutación:** Es un polo magnético suplementario, provisto o no, de devanados y destinado a mejorar la conmutación. Suelen emplearse en las máquinas de mediana y gran potencia.

4.1.3. Núcleo del estator

La parte activa del estator es formada de láminas segmentadas de acero y silicio de 0,5mm de espesor y con bajo factor de pérdidas. Cada segmento, formado por las ranuras, la corona del anillo magnético y asientos de las cuñas que interconectan el núcleo a la carcasa, es estampado, rebabado y cubierto con una fina camada de barniz eléctricamente aislante y resistente a altas temperaturas y presiones.

Devanado del estator: El devanado estatórico, tipo imbricado, es formado por tres fases en conexión estrella con neutro aterrado a través de transformador de distribución con resistencia secundaria.

4.1.4. Embobinado del rotor

En los motores de rotor bobinado, el arrollamiento rotórico está constituido por unas bobinas de hilo de cobre por lo general.

Y cuyos extremos están conexiados a unos anillos (anillos rozantes) por los que se alimentaran las bobinas. Para el arrollamiento del rotor se utilizan, conductores de sección circular o rectangular, aislados generalmente con doble capa de algodón o barnices apropiados e introducidos en las ranuras y aislados de ellas y entre sí.

4.2. Utilidad básica de cada elemento utilizado

4.2.1. Diodo

Si a un diodo Zener se le aplica una corriente eléctrica del ánodo al cátodo (polarización directa) toma las características de un diodo rectificador básico (la mayoría de casos), pero si se le suministra corriente eléctrica de cátodo a ánodo (polarización inversa), el diodo solo dejara pasar una tensión constante. No actúa como rectificador sino como un estabilizador de tensión.

En conclusión: el diodo Zener debe ser polarizado al revés para que adopte su característica de regulador de tensión.

Variando la tensión V a valores mayores que la tensión de ruptura del zener, V_z se mantiene constante.

Su símbolo es como el de un diodo normal pero tiene dos terminales a los lados. Este diodo se comporta como un diodo convencional en condiciones de alta corriente porque cuando recibe demasiada corriente se quema.

4.2.2. Rotor

También llamado armadura. Lleva las bobinas cuyo campo crea, junto al del estator, el par de fuerzas que le hace girar.

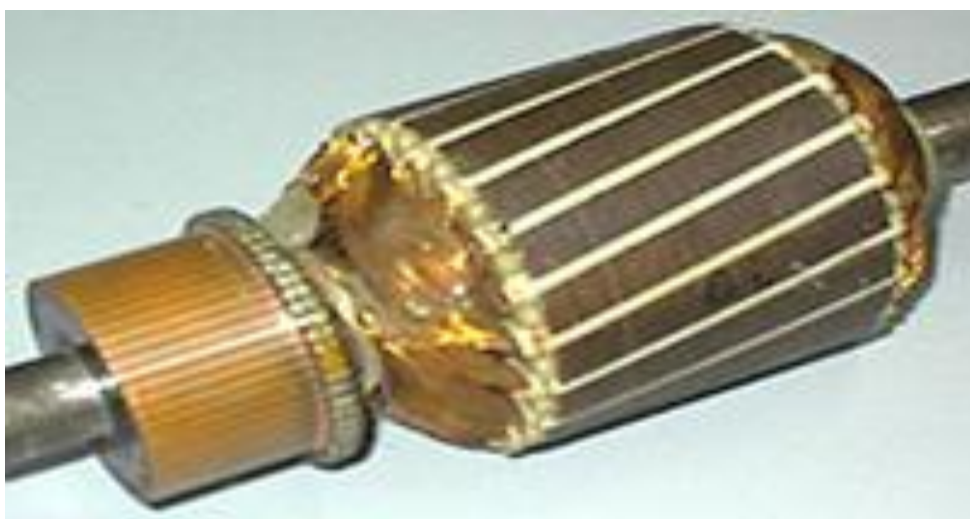


Figura N° 19: Forma de un rotor.

Fuente: [11]

4.2.2. Escobillas:

Normalmente son dos tacos de grafito que hacen contacto con las bobinas del rotor. A medida que éste gira, la conexión se conmuta entre unas y otras bobinas, y debido a ello se producen chispas que generan calor. Las escobillas se fabrican normalmente de grafito, y su nombre se debe a que los primeros motores llevaban en su lugar unos paquetes hechos con alambres de cobre dispuestos de manera que al girar el rotor "barrían", como pequeñas escobas, la superficie sobre la que tenían que hacer contacto.

4.2.3. Colector:

Los contactos entre escobillas y bobinas del rotor se llevan a cabo intercalando una corona de cobre partida en sectores. El colector consta a su vez de dos partes básicas:

4.2.3.1. Delgas:

Son los sectores circulares, aislados entre sí, que tocan con las escobillas y a su vez están soldados a los extremos de los conductores que conforman las bobinas del rotor.

4.2.3.2. Micas:

Son láminas delgadas del mismo material, intercaladas entre las delgas de manera que el conjunto forma una masa compacta y mecánicamente robusta.

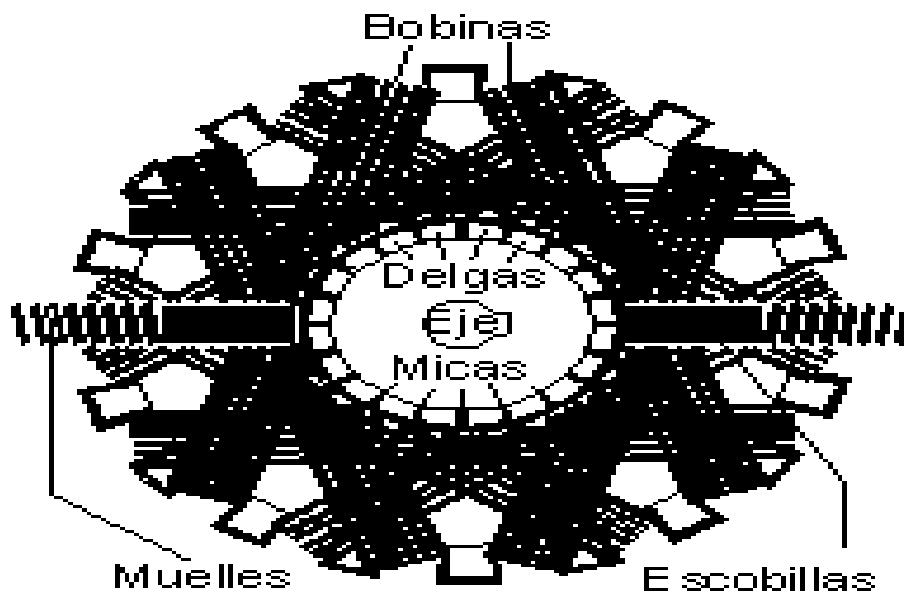


Figura N° 20: Partes de un colector

Fuente: [12]

4.3. Costos de los dispositivos electrónicos

4.3.1. Los diodos

El costo al momento de realizar la compra de un generador eléctrico al instante en el cuál, la persona quién la realiza es decir quién va a construir un generador que conste de dispositivos electrónicos mucho más eficientes y que sirva para abaratar los costos de producción, podría variar desde los 0.05 centavos de dólar hasta algunos que cuestan unos 9 dólares dependiendo del generador que se vaya a edificar.

4.3.2. Bobinas del estator, donde se origina la corriente.

Al instante de efectuar la compra de una bobina del estator en la cual se pueda originar la corriente, el investigador quién la realiza es decir quién va a construir el generador que conste de diversos dispositivos electrónicos mucho más eficientes y que sirva para abaratar los costos de producción, podría variar alrededor de 45 dólares hasta 450 dólares dependiendo del generador que se vaya a edificar.

4.3.3. Núcleo del estator.

El núcleo del estator para un generador eléctrico debe tener una calidad asegurada y una gran precisión. Los métodos de apilado se dividen en los del tipo sujetos que dependerán de las necesidades de aplicación. Por lo tanto es indispensable adquirirlo ya sea de forma nacional o importándolo, esto quiere decir que tendría un costo alrededor de unos 50 dólares a unos 200 dólares.

4.3.4. Embobinado del rotor.

Cuando se realice el embobinado del rotor, el investigador quién la realiza es decir quién va a construir el generador que conste de diversos dispositivos electrónicos mucho más eficientes y que sirva para abaratar los costos de producción, podría variar alrededor de 25 dólares hasta 150 dólares en caso de que la persona que lo realice conozca del tema en relación o contrate a alguien más aparte.

4.3.5. Rotor o campo magnético.

Cuando se requiera comprar el rotor o campo magnético, el autor quién la realiza es decir quién va a construir el generador que conste de diversos dispositivos electrónicos mucho más eficientes y que sirva para abaratar los costos de producción, podría variar

alrededor de 70 dólares hasta 250 dólares dependiendo del generador que se vaya a edificar.

4.3.6. Escobillas o carbones, brochas cepillos.

Para adquirir las escobillas o carbones, el delegado quién la realiza es decir quién va a construir el generador que conste de diversos dispositivos electrónicos mucho más eficientes y que sirva para abaratar los costos de producción, podría variar alrededor de 0.15 centavos de dólar hasta 15 dólares dependiendo del generador que se vaya a edificar.

4.4. Justificación de los reemplazos de los dispositivos electrónicos en los generadores eléctricos.

4.4.1. Rotor:

- Retiro e instalación de los anillos de retención usando máquina de inducción.
- Reemplazo del kit de aislamiento
- Reparaciones menores a el aislamiento entre espiras
- Desmontaje de bobinas
- Limpieza y moldeo de bobinas
- Limpieza abrasiva del núcleo usando Glass Bead
- Reaislado Completo de bobinas reutilizando el mismo Cobre
- Reaislado Completo de la Conexión axial
- Reparación por soldadura de las bobinas de cobre, con fisuras o rotas

4.4.1.1. Pruebas Eléctricas

- Resistencia de Aislamiento
- Indice de Polarización
- Indice de Absorción
- Sobre Potencial (HI - POT)
- Balance de Polos

- Impedancia
- Resistencia Ohmica del Devanado

4.4.2. Estator

- Desmontaje de Bobinas
- Limpieza de Núcleo con Micro Esferas de Vidrio Glass Bead
- Rebobinado completo
- Curado de Bobinas Utilizando Ventiladores de Aire Caliente
- Reparaciones Parciales en Cabezas de Bobinas
- Reparaciones Parciales en Conexiones
- Reparaciones Parciales en Aros de Conexión
- Reparaciones Parciales en Líneas
- Reacuñado Parcial o Total

4.4.2.1. Inspecciones

- Área del Núcleo:
 - Chequeo de cuñas (WTD)
 - Condición de los rellenos entre cuña y bobina
 - Verificación del estado de la Laminación
 - Verificación de Torque de pernos de apriete del núcleo
- Cabezas de Bobina lado Turbina Lado Excitatriz:
 - Condición del Aislamiento
 - Condición de soportes y amarres de bobinas
 - Inspección de los Aros de Fijación de las bobinas
 - Inspección de Espaciadores entre Bobinas (inferiores y superiores), en el lado de turbina y el lado excitación

- Inspección de Líneas y Sistema de Excitación:
 - Condición General, Limpio o Sucio
 - Inspección del Aislamiento de porcelana en busca de grietas
 - Busca de Evidencia de Efectos Corona y Descargas Parciales
 - Chequeo de la Condición de plateado de Barras de Salida

4.4.2.2. Pruebas Eléctricas

- Resistencia de Aislamiento en cada Fase
- Voltaje Escalonado
- Sobre Potencial DC (HI - POT)
- Pruebas de Efectos Coronas en Ranura
- Pruebas de Termocupla
- Resistencia de Aislamiento en RTD
- Pruebas de Lectura de RTD
- Resistencia Ohmica por Fase
- EL CID

4.4.2.3. Trabajos Mecánicos

- Rebobinado de cojinetes
- Reparación y Fabricación de sellos de lubricación
- Verificación de Run Out
- Balanceo a baja velocidad en taller
- Balanceo a velocidad nominal (En Sitio)
- Reparación con soldadura de ventiladores
- Análisis de detección de fallas por causa raíz
- Reparación de tapas, housing y otros componentes con soldadura utilizando métodos TIG & MIG

- Identificación positiva del material (PMI)
- Bruñido y pulido de muñones para aplicación del T.I.R
- Rectificado de Muñones
- Mecanizados de anillos de retención
- La prioridad de TurboCare, C.A., es proveer las mejores soluciones para ayudar a mejorar la competitividad de las plantas aumentando la vida útil de los generadores

CONCLUSIONES

- Cuando se habla sobre el sentido más amplio de la energía geotérmica se refiere a que es el calor interno de la Tierra. Por lo tanto se puede decir que es un hecho conocido que en el subsuelo, bajo la tierra que pisamos, la temperatura aumenta con la profundidad, es decir, existe un gradiente térmico y, por lo tanto un flujo de calor desde el interior de la Tierra hacia el exterior.
- Al momento de dialogar o realizar un generador eléctrico se pudo aprender sobre su funcionamiento y descubrimos que es un dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, también llamados polos, terminales o bornes.
- Debido a que el uso de generadores se lo realiza para transformar energía mecánica en eléctrica. Dicha transformación viene dada por la acción de un campo magnético sobre conductores eléctricos dispuestos sobre el estator.
- Para el uso de los niveles de carga máximos, los cuales está diseñado el generador, así como los parámetros que se muestran en una hoja de datos del fabricante, brindan información fundamental que debe ser considerada con suma seriedad, al igual que es indispensable para preservar la seguridad del mismo y los cuales servirán de apoyo para poder mantener la continuidad y estabilidad de la operación del sistema eléctrico de potencia.
- Gracias a los conocimientos adquiridos acerca de los tipos de protección se puede evitar cualquier tipo de fallas al momento de poner en marcha los generadores eléctricos.
- Dependiendo de las potencias que manejemos, existen diferentes diseños, para poder verificar la calidad de los generadores, la cual proporciona que la frecuencia y la velocidad van juntas.
- Debido al diseño de polos salientes en el estator, se tiene la condición que cuenta con el inducido en el rotor, es decir en la parte que se mueve, de aquí que es

necesario la utilización de anillos, y estos van a depender del número de fases.

- Al utilizar generadores de gran potencia el diseño de polos salientes en el estator, no es necesario sacar la tensión generada, solo es indispensable únicamente ingresar un voltaje mínimo para la excitación del campo.
- Cuando se diseñe un generador sin escobillas resulta algo mucho más complejo, ya que la salida de este va a dirigirse hacia una placa electrónica, en la cual van a encontrarse diferentes tipos de dispositivos, y este comandar el circuito de excitación.

RECOMENDACIONES

- Se requiere mucho más el uso de energía geotérmica ya que como se refiere a que es el calor interno de la Tierra, se lo puede aprovechar de mejor forma y así generar más recursos con menos costos de inversión.
- Realizar mucha más investigación sobre los generadores eléctricos, su producción su elaboración, son de mucha importancia ya que en un futuro podríamos ser expertos en la materia y no necesitaríamos de alguien más para poder realizar una construcción eficiente y eficaz, además de la utilización de recursos o materiales nacionales y así abaratar todos los costos que requiere al momento de su construcción.
- El operario o la persona encargada o involucrada dentro de la operación del generador eléctrico, conozca adicionalmente la importancia que este equipo representa para la seguridad y confiabilidad del Sistema Eléctrico de Potencia.
- Gracias a la ayuda y colaboración de los alumnos de la Escuela Politécnica Salesiana puedan confirmar que lo visto en la Universidad son la base para el entendimiento de lo que se realiza en la vida laboral. Que traten de aprender lo más que se pueda, ya que todo ello les será posteriormente de mucha utilidad.
- Es muy importante al momento de manipular u operar cualquier tipo de generadores eléctricos conocer todos los tipos de fallos que se pueden producir para de esta forma prevenirlos gracias a la existencia de los tipos de protección que se requieren y así no provocar cualquier incidente o inconveniente.
- Es preferible conocer sobre las potencias que manejemos, debido a que existen diferentes diseños, y así se podría verificar la cualidad de los generadores, los cuales darán una frecuencia y velocidad a la par.
- Es ineludible la utilización de anillos debido a que al momento del diseño de polos salientes en el estator, estos van a depender del número de fases.

- No se requiere conseguir la tensión cuando se utilizan generadores de gran potencia, al instante del diseño de polos salientes en el estator, es decir que solo es necesario únicamente ingresar un voltaje mínimo para la excitación del campo.
- Tener mucho cuidado al momento del diseño de un generador sin escobillas debido a que la salida va a dirigirse hacia una placa electrónica, en la cual se encontrarán diferentes tipos de dispositivos, que sirven para comandar el circuito.

REFERENCIAS

- [1] AGEERA, "La generación eléctrica," *AGEERA*, vol. II, no. 6, pp. 6-7, Febrero 2009.
- [2] AGEERA, "La generación eléctrica," *AGEERA*, pp. 10-11, 2009.
- [3] AGEERA, "La generación eléctrica," *AGEERA*, pp. 14-15, 2009.
- [4] Betz, "Generación eólica," *AGEERA*, p. 16, 2009.
- [5] Javier Pahuanquiza. (2015, Jan.) Energía eólica. [Online].
<http://www.energy-spain.com/energia-eolica>
- [6] AGEERA, "La generación eléctrica," *AGEERA*, p. 20, 2009.
- [7] AGEERA, "La generación eléctrica," *AGEERA*, p. 21, 2009.
- [8] Antonio Hermosa, *Principios de electricidad y electrónica II*. Barcelona: MarCombo, 1999.
- [9] Michael Cirovic, *Electrónica Fundamental*. New Yersey: Reverté S.A., 1995.
- [10] Óscar Sánchez. (2015, Enero) Generador sincrónico. [Online].
http://cursos.eie.ucr.ac.cr/claroline/backends/download.php?url=L1RlbWFfMI9N4XF1aW5hX1NpbmNy825pY2EucGRm&cidReset=true&cidReq=IE0416_010
- [11] Francis Sears, *Fundamentos de fisica II. Electricidad y magnetismo*. Madrid: Aguilar, 1958.
- [12] Rudolf Graf, *Electrónica*. Madrid: Pirámide, 1984.
- [13] José Sánchez. (2008, Octubre) Yacimientos Geotérmicos. [Online].
<http://www.geoener.es/pdf/2008/jose-sanchez-tipos-de-yacimientos-geotermicos-investigacion.pdf>
- [14] Ernesto Matozo. (2012) Generación de Energía. [Online].
<http://www.igme.es/internet/Geotermia/La%20geotermia%20en%20el%20mundo.htm>
- [15] Eriselda Marielda. (2012) Generación de Energía Geotérmica. [Online].
<http://www.cfe.gob.mx/sustentabilidad/publicaciones/genElectricidad/Paginas/Generaciondeelectricidad.aspx>
- [16] Cengel Y, *Transferencia de Calor*. México: McGraw-Hill, 2004.
- [17] J.M CORBERÁN, *Aprovechamiento del calor residual de origen geotérmico para la mejora energética.*: MICyT, PROFIT, 2002 a 2004.
- [18] A. CREUS, *Energía geotérmica de baja temperatura.*: Ceysa, 2008.
- [19] J. R. FANCHI, *Energy. Technology and directions for the future*. London.: Elsevier Academic press., 2004.
- [20] F. JARABO Energías renovables. S, *Energías renovables*. Madrid: SAPT Publicaciones Técnicas, 2000.
- [21] MADRID VICENTE A., *Energías renovables Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones.*: AMV, 2008.
- [22] Javier Pahuanquiza, *Geografía Económica*. Quito: Macchi, 2015.

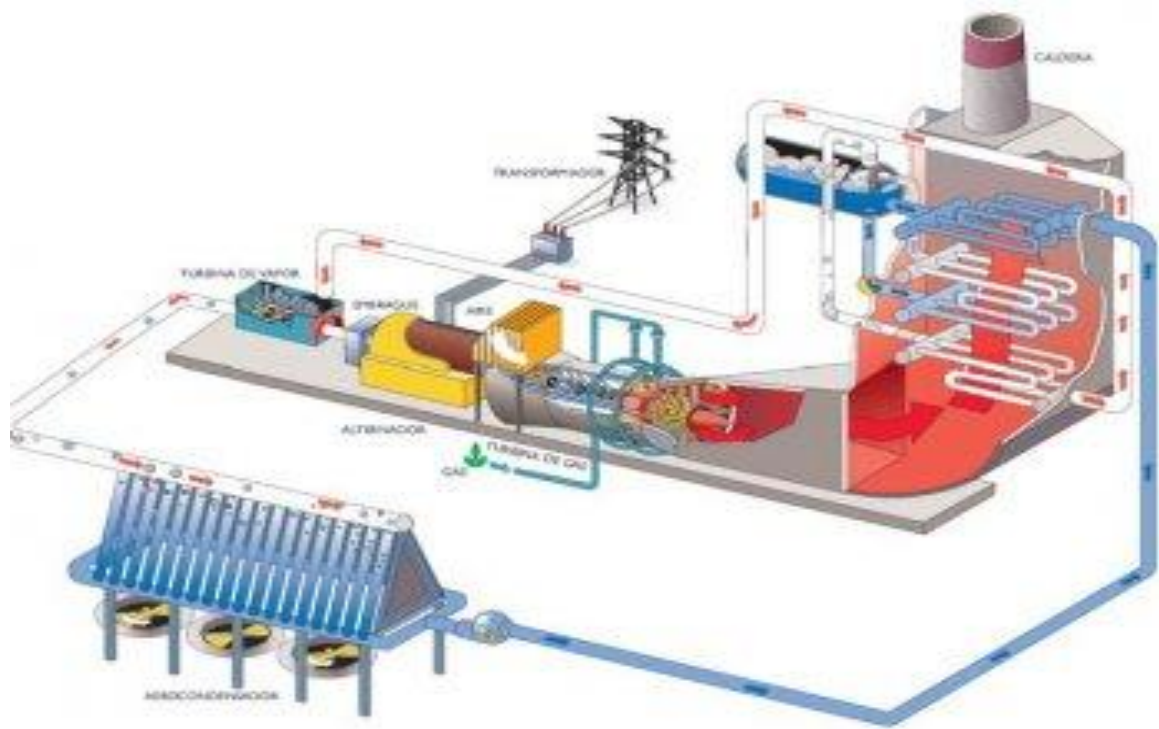
- [23] Javier Pahuanquiza, *Aventuras de la Ciencia Energética*. Quito: Astros, 2015.
- [24] Luis Postigo, *El mundo de la Energía*. Quito: Sopena, 2015.
- [25] Javier Pahuanquiza, *NaturCiencia*. Quito, 2014.
- [26] Antonio Nicolás Gillari. (1996) Ambiente Ecológico. [Online].
www.ambiente-ecologico.com
- [27] Christopher Kinkaid, *Energía Solar*. Oregon: Solardyne, 2014.
- [28] Javier Pahuanquiza. (2015, Enero) renovables.com. [Online].
www.renovables.com
- [29] Stephen Chapman, *Máquinas Eléctricas*.: Mc-Graw Hill, 2003.
- [30] Liwschitz Garik, *Máquina de corriente alterna*.: Continental S.A., 1974.
- [31] Eugenio Téllez, "Máquinas síncronas,".
- [32] Huber Murillo, "Máquinas Eléctricas II," 2010.
- [33] Marco Fajardo. (2011) Perdidas en los transformadores. [Online].
<http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448141784.pdf>
- [34] Verónica Azevedo. (2007) Estabilidad de sistemas eléctricos de Potencia. [Online].
<http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/esep/>
- [35] Manuel Fernando Martínez, Marco Aurelio, and José Vicente Camargo, *Conceptos básicos de protecciones en sistemas de potencia*. Caldas: ACIEM, 1982.
- [36] José Carlos Romero and Francisco Vega, *Protecciones Eléctricas*. Bogotá, 1984.
- [37] Donald G. Fink and Wayne H. Beaty, *Manual de Ingeniería Eléctrica*.: McGraw Hill, 1978.
- [38] T. Schelmer, *Manual de baja tensión, Indicadores para la selección de aparatos de maniobra, instalaciones y distribuciones*.: Siemens, 1984.
- [39] William D. Stevenson, *Elements of power system analysis*.: MacGraw Hill, 1984.
- [40] Luis A. Siegert, *Alta tensión y sistemas de transmisión*.: Noriega, 1986.
- [41] I. M. Gottlieb, *Electric Motors & Control Techniques*.: TAB Books., 1994.
- [42] Sears Francis, *Electricidad y magnetismo*. Madrid: Aguilar, 1958.
- [43] Alexander Montill, *Máquinas Eléctricas*. Madrid: Pirámide, 1984.
- [44] Fitz Gerald A., *Teoría y análisis de las Máquinas Eléctricas*. Londres: McGraw Hill, 2004.
- [45] Rudolf F. Graf, *Electrónica*. Madrid: Pirámide, 1984.
- [46] J. A. Kandyba, *Nociones de Electricidad Industrial*. Barcelona: Gustavo Gili S.A., 1976.
- [47] Gilberto Harper, *El libro práctico de los generadores*, Segunda ed., Grupo Noriega, Ed. México D.F., México: Limusa S.A., 2004.
- [48] E. Aguilar, *Motores y generadores eléctricos*, Segunda ed., Aguilar, Ed. Madrid, España: Aguilar, 1961.
- [49] Luis Luna, *Instalaciones eléctricas de baja tensión*, Primera ed., Mundi Prensa, Ed. Madrid,

España: Mundi-Prensa Libros, S.A., 2008, vol. I.

[50] Robert Smeaton, *Motores Eléctricos*, Segunda ed., McGraw Hill, Ed. Distrito Federal, México: McGraw-Hill, 1991, vol. III.

[51] Diego Ponce, "No es un lujo si no una necesidad," *CLAVE*, vol. VI, no. 15, pp. 6-8, Enero 2015.

ANEXOS



Anexo N° 1: Proceso generación eléctrica.



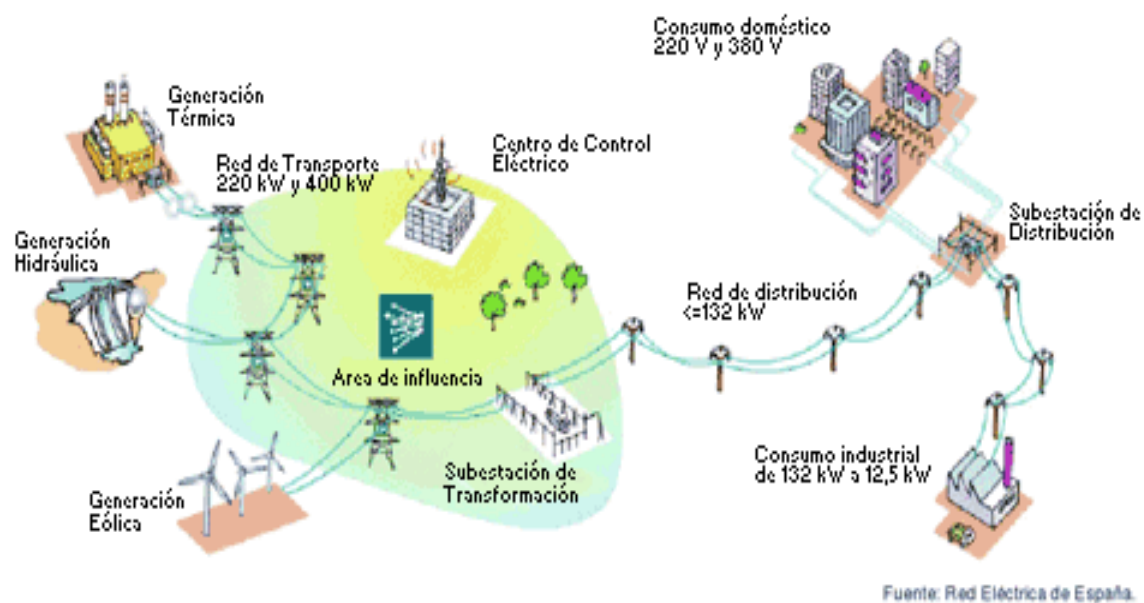
Anexo N° 2: Estructura de un sistema de generación.



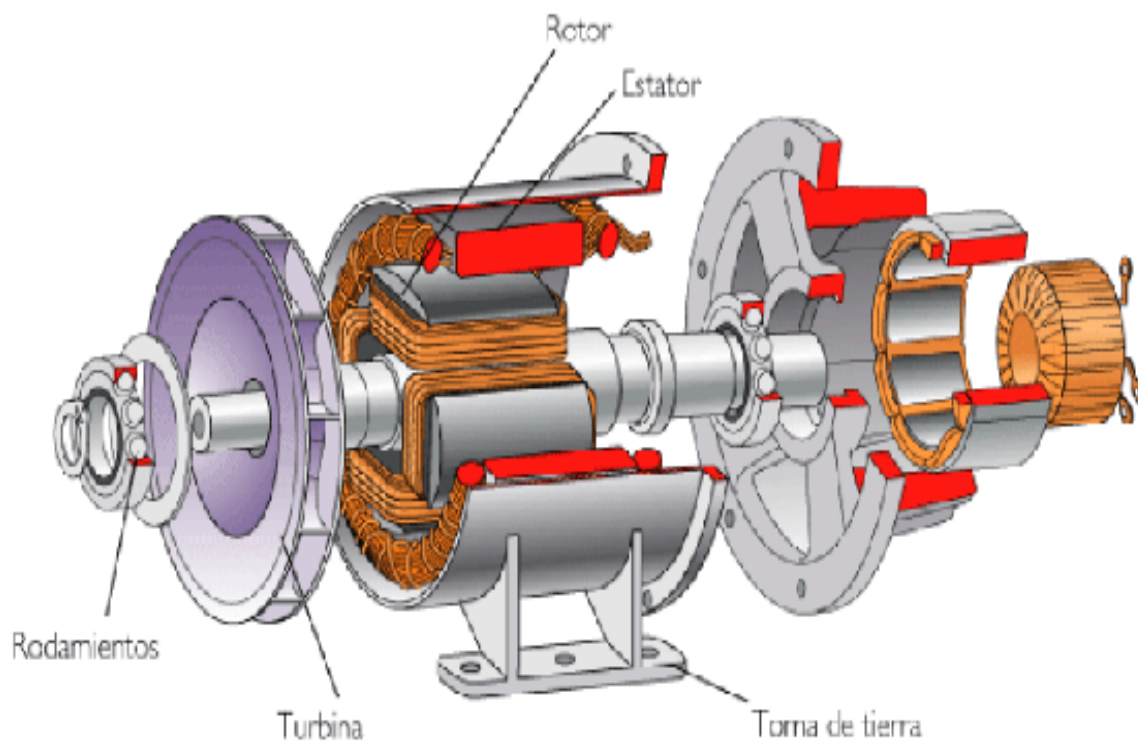
Anexo N° 3: Generación Eólica.



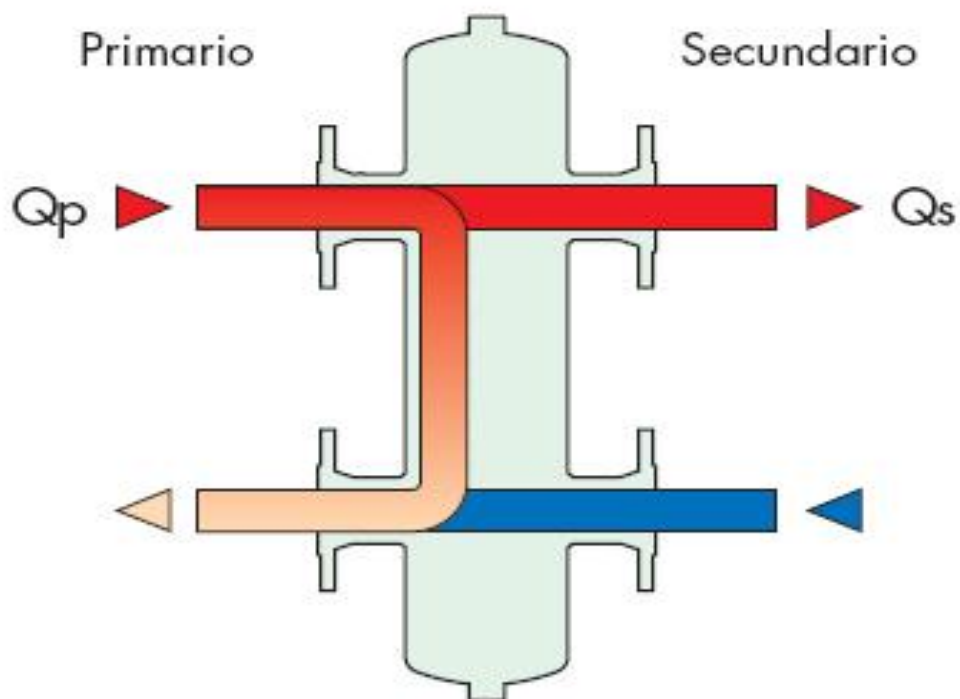
Anexo N° 4: Energía Solar.



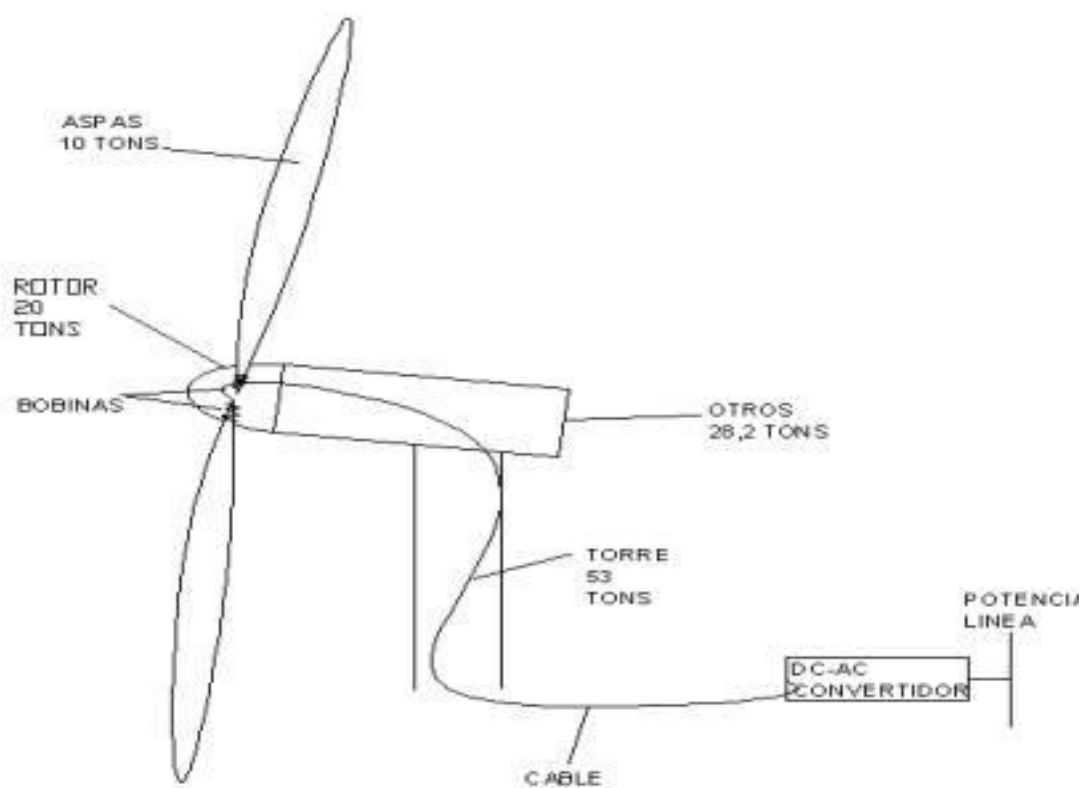
Anexo N° 5: Esquema del sistema eléctrico actual.



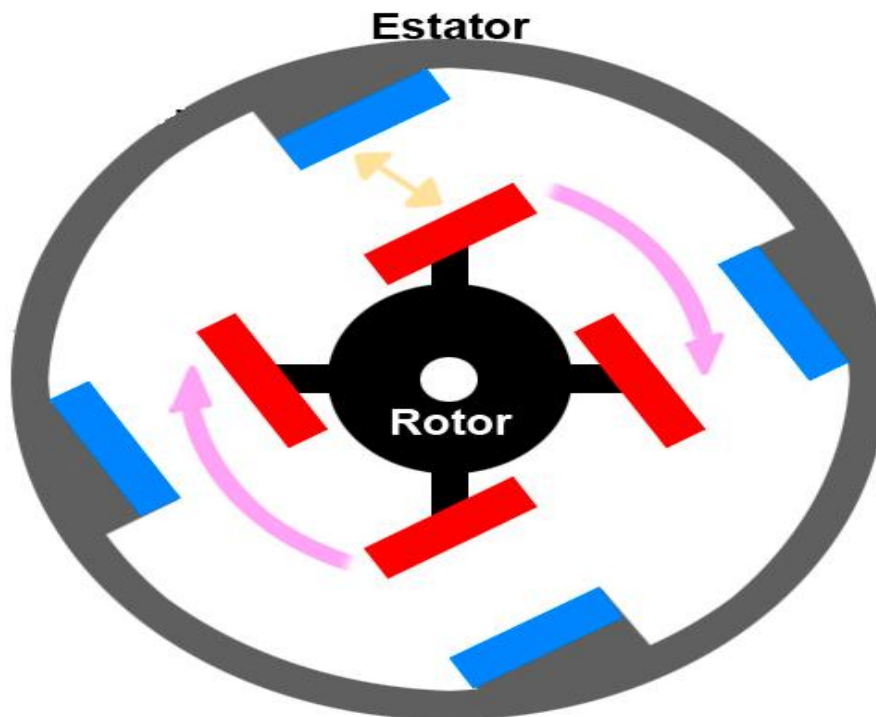
Anexo N° 6: Partes de un generador eléctrico



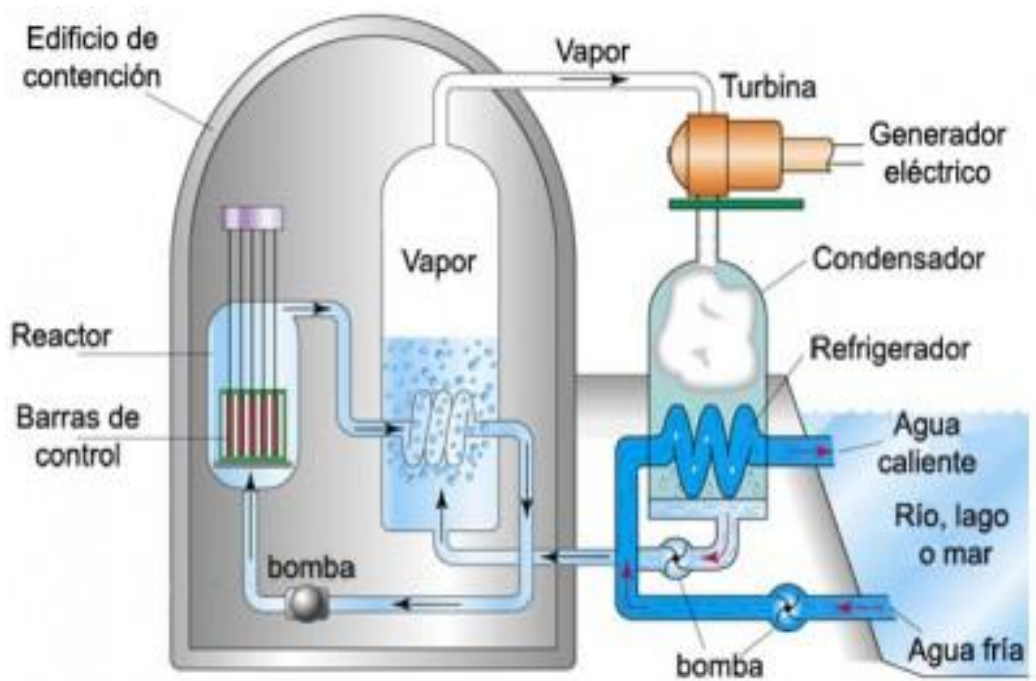
Anexo N° 7: Tipos de generadores eléctricos.



Anexo N° 8: Sistema de generación eólica.



Anexo N° 9: Movimiento de un generador eléctrico



Anexo N° 10: Funcionamiento de una central nuclear.